

UNIVERSITÉ DE NEUCHÂTEL
FACULTÉ DE DROIT ET DES SCIENCES ÉCONOMIQUES

Méthode d'évaluation ergonomique des affichages horlogers de conception conventionnelle et nouvelle

THÈSE

PRÉSENTÉE À LA FACULTÉ DE DROIT ET DES SCIENCES ÉCONOMIQUES
POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR EN PSYCHOLOGIE DU TRAVAIL

PAR

ANDRÉ-PIERRE BOUILLE

IMPRIMERIE DE L'OUEST SA, 2034 PESEUX
1980

1979



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41555009_0002

UNIVERSITÉ DE NEUCHÂTEL
FACULTÉ DE DROIT ET DES SCIENCES ÉCONOMIQUES

Méthode d'évaluation ergonomique des affichages horlogers de conception conventionnelle et nouvelle

THÈSE

PRÉSENTÉE À LA FACULTÉ DE DROIT ET DES SCIENCES ÉCONOMIQUES
POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR EN PSYCHOLOGIE DU TRAVAIL

PAR

ANDRÉ-PIERRE BOUILLE

IMPRIMERIE DE L'OUEST SA, 2034 PESEUX
1980

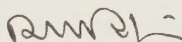


Monsieur André-Pierre BOUÏLLE est autorisé à imprimer
sa thèse de doctorat en psychologie du travail intitulée :
"Méthode d'évaluation ergonomique des affichages horlogers de
conception conventionnelle et nouvelle".

Il assume seul la responsabilité des opinions énoncées.

Neuchâtel, 19 décembre 1979

Le doyen
de la Faculté de droit
et des sciences économiques

A handwritten signature in dark ink, appearing to read 'Ruedin', with a stylized flourish at the end.

Roland Ruedin

Remerciements

Ma profonde gratitude s'adresse à M. le professeur M. Rousson qui, tout au long de ce travail, m'a soutenu de ses encouragements et m'a fait bénéficier de sa grande expérience en psychologie du travail tout en me laissant une grande liberté de jugement.

Je tiens à exprimer ma vive reconnaissance à M. le professeur F. Pellandini qui a toujours su me conseiller judicieusement et qui m'a accueilli à l'Institut de microtechnique où cette recherche a pu être effectuée dans d'excellentes conditions.

Mes remerciements vont également à M. J.-P. Vandenbosch, chargé du cours d'ergonomie, pour les discussions très fructueuses que nous avons eues et M. le professeur A. Strohmeier, pour ses conseils portant sur des aspects statistiques non-paramétriques de ce travail.

Je ne saurais oublier l'aide précieuse que m'a apportée Melle J. Gaille qui a travaillé sans relâche à la dactylographie du manuscrit et des différentes épreuves, permettant ainsi la bonne présentation du texte.

Cette recherche a été effectuée avec l'appui financier de la CERS (Commission pour l'encouragement de la recherche scientifique, projet no 944), de l'ASUAG (Bienne) et d'Ebauches SA (Neuchâtel).

Table des matières

<u>Résumé</u>	9
<u>Introduction</u>	13
1. <u>Problématique</u>	17
1.1 Efficacité fonctionnelle	19
1.1.1 Perception de l'information	20
1.1.2 Mémorisation de l'information	22
1.1.3 Processus de traitement de l'information	25
1.2 Valeurs humaines	31
2. <u>Etudes réalisées dans le domaine de la lisibilité des affichages horlogers</u>	35
2.1 Recherche effectuée par Neubauer	35
2.2 Recherche effectuée par van Nes	37
2.3 Recherche effectuée par Cey-Bert	39
2.4 Recherche effectuée par Zeff	44
2.5 Questions ouvertes	45
3. <u>Méthodologie et opérationnalisation</u>	49
3.1 Lecture de l'heure dans la réalité	49
3.1.1 Fiche d'auto-observation	51
3.1.2 Interview pré-questionnaire	52
3.1.3 Interview post-questionnaire	53
3.2 Efficacité fonctionnelle des différents types d'affichages	53
3.2.1 Perception de l'information	54
3.2.2 Mémorisation de l'information	57
3.2.3 Processus de traitement de l'information	60
3.3 Analyse de la préférence pour les différents affichages	69
3.3.1 Questionnaire	74

4.	<u>Situations expérimentales et résultats</u>	77
4.1	Description des affichages évalués	77
4.1.1	Méthode de quantification de l'information perçue	87
4.2	Lecture de l'heure dans la réalité	93
4.2.1	Fiche d'auto-observation	94
4.2.2	Interview pré-questionnaire	97
4.2.3	Interview post-questionnaire	98
4.3	Efficacité fonctionnelle des différents types d'affichages	100
4.3.1	Perception de l'information	100
4.3.1.1	Mesure tachistoscopique	100
4.3.1.2	Analyse des mouvements oculaires	109
4.3.1.3	Discussion	116
4.3.2	Mémorisation de l'information	117
4.3.2.1	Discussion	123
4.3.3	Processus global du traitement de l'information	126
4.3.3.1	Mesure des temps de réaction et de l'erreur de lecture	126
4.3.3.2	Apprentissage	143
4.3.3.3	Discussion	150
4.4	Analyse de la préférence pour les différents affichages	156
4.4.1	Nombre de montres que possède la population interrogée et caractéristiques concernant le port de cet instrument	156
4.4.2	Les différents genres d'utilisation et les valeurs qui leur sont attribuées	158
4.4.3	Etude des associations existant entre le type d'affichage et les différents genres d'utilisation	161
5.	<u>Synthèse des résultats</u>	169
5.1	Affichage analogique	169
5.2	Affichage numérique	174

5.3	Affichage pseudo-analogique	178
5.4	Affichage pseudo-numérique	181
5.5	Affichage numérique avec signe moins	184
	<u>Conclusion</u>	187
	<u>Bibliographie</u>	195
	<u>Annexe</u>	199
A1	Fiche d'auto-observation	201
A2	Edition des affichages sur moniteur TV couleur	203
A2.1	Interface microordinateur-moniteur TV	205
A2.2	Mémoire de rafraichissement	205
A2.3	Electronique gérant la couleur	206
A2.4	Entrée des paramètres	207
A2.5	Le microordinateur et le logiciel de commande	209
A3	Equipement expérimental pour la mesure tachistoscopique	213
A4	Equipement expérimental pour la mesure des temps d'exposition individuelle et de réaction verbale	215
A5	Questionnaire	217
A5.1	Echantillon	218
A5.2	Réponses au questionnaire	219

Résumé

L'affichage analogique (à aiguilles) a toujours été apprécié par l'utilisateur pour la bonne forme sous laquelle l'information horaire est représentée. Avec l'apparition des montres à quartz, la montre à affichage analogique présente l'inconvénient d'être réalisée avec une technologie mixte : elle est constituée de pièces mécaniques et de composants électroniques.

Pour remédier à ce désavantage, des montres "solid state" (sans pièces mobiles) ont été créées; en général, elles affichent l'heure sous forme numérique. A priori, il est apparu que cette représentation de l'heure n'était pas aussi confortable pour l'utilisateur que la forme analogique.

Afin d'allier la technologie "solid state" avec le confort de lecture, de nouveaux types d'affichages ont été développés : l'affichage pseudo-analogique, l'affichage pseudo-numérique et l'affichage numérique avec signe moins (la description de ces affichages est donnée dans le chap. 4.1).

Pour déterminer la mesure dans laquelle ces nouveaux affichages offraient une meilleure lisibilité par rapport aux affichages conventionnels (analogique et numérique), une méthode d'évaluation ergonomique a été mise au point et appliquée.

Une recherche de littérature a mis en évidence que seules des évaluations des deux affichages conventionnels avaient été effectuées. Ces différentes études laissent en suspens nombre de problèmes.

Nous avons donc conçu une méthode d'évaluation dans la

perspective de répondre aux questions laissées ouvertes. Cette méthode comprend quatre domaines d'investigation différents qui ont été élaborés selon les objectifs fondamentaux de l'ergonomie et selon un modèle du système sensorimoteur humain. Ces quatre domaines traitent :

- de la perception par le sujet de l'information présente sur l'affichage. L'expérience correspondante est constituée de mesures tachistoscopiques et de l'analyse des mouvements oculaires
- de la mémorisation de l'information. Elle est mesurée par des tests de restitution libre
- du processus global du traitement de l'information par le système sensorimoteur humain. Les expériences correspondantes sont la mesure de temps de réaction et d'erreurs lors de la lecture de l'heure
- de l'attitude d'une population face aux affichages horlogers. Elle a été déterminée par une enquête d'opinion.

Cette méthode d'évaluation comporte certains aspects nouveaux :

- la perception et la mémorisation ont été évaluées avec le critère de la quantité d'information perçue (chap. 3.2.1 et 4.1.1)
- les temps de réaction ont été analysés en fonction de deux variables qui sont la précision de lecture (lecture précise et lecture approximative) et le mode de lecture
- trois modes de lecture différents ont été considérés : la lecture absolue qui est la lecture du temps présent; la lecture relative qui permet de déterminer le laps de temps compris entre le temps présent et un événement attendu et la lecture dichotomique qui permet de déterminer si un événement attendu n'est pas encore atteint ou est dépassé. Une définition complète des différents modes de lecture est donnée dans le chap. 1.1.3.

- les fréquences d'apparition des différents modes et précisions de lecture dans la réalité ont été quantifiées. A cet effet, une population a été interrogée sur les lectures de l'heure réalisées au cours de la journée. La méthode utilisée est l'auto-observation (chap. 3.1). Les résultats de cette enquête permettent de pondérer l'importance relative des différents temps de réaction : un temps de réaction qui correspond à un type de lecture qui est très fréquemment rencontré dans la réalité revêtira une grande importance.
- lors des tests de temps de réaction, pour chaque type d'affichage, nous avons déterminé si les sujets avaient assimilé l'opération de lecture de l'heure ou si ils étaient encore dans une phase d'apprentissage.

Les résultats obtenus démontrent que la méthode développée s'est avérée efficace. En effet, chacun des quatre domaines d'évaluation a apporté des résultats permettant de caractériser chaque type d'affichage et de déterminer les situations spécifiques de lecture pour lesquelles ils étaient le mieux adaptés. Les différents résultats sont complémentaires et concordants; ils font apparaître que :

- les affichages du type analogique ou proches de ce type sont particulièrement bien adaptés aux lectures approximatives
- les affichages du type numérique ou proches de ce type présentent d'excellentes performances pour les lectures précises
- pour évaluer les temps de lecture, le mode de lecture (mode absolu, relatif, dichotomique) ne constitue pas un bon facteur qui discrimine les différents types d'affichages
- qu'un affichage nouveau, situé typologiquement entre l'affichage analogique et l'affichage numérique, constitue

une excellente solution. Par exemple, l'affichage pseudo-numérique offre une très bonne lisibilité et l'apprentissage qu'il nécessite est négligeable.

L'enquête d'opinion sur l'attitude de l'utilisateur a mis en évidence les avantages et inconvénients des deux affichages conventionnels :

- la montre à affichage analogique est très appréciée. Ses principales qualités sont la lisibilité et l'esthétique. Les motivations d'achat pour ce genre de montre sont aussi affectées par la précision offerte et la simplicité d'utilisation (montre analogique électronique), l'habitude et la solidité (montre analogique mécanique).
- la nouveauté et les fonctions multiples (chronographe, rappel-mémoire, etc.) sont les principales qualités de la montre numérique. Cependant, la majorité des personnes interrogées lui reprochent sa manipulation difficile (poussoirs de commande) et son manque d'esthétique.

Si le lecteur ne désire s'informer que des résultats de cette étude, nous lui conseillons de se reporter au chap. 4 qui contient les résultats numériques et au chap. 5 qui est une synthèse des résultats.

Les chap. 1 et 3 sont consacrés à la partie théorique du travail. Le chap. 2 est un aperçu des recherches qui ont été effectuées dans le domaine de la lisibilité des affichages horlogers. Nous tenons encore à informer le lecteur que deux articles ont été publiés; donnant ainsi un aperçu plus bref de cette étude. Le premier (Bouille et Rousson, 1979) est consacré à l'enquête d'opinion; le second (Bouille et al. 1979) traite de l'évaluation de la lisibilité des deux affichages conventionnels (analogique et numérique) et du nouvel affichage ayant présenté les meilleures performances (pseudo-numérique).

INTRODUCTION

Dans notre société moderne, les impératifs de la vie quotidienne sont tels que l'homme est constamment préoccupé par le temps qui défile. Les indicateurs naturels (soleil, nature, environnement rural, etc...) ne lui permettent plus de régler son rythme de vie comme le faisaient ses ancêtres. Afin de répondre aux contraintes temporelles auxquelles il est soumis, l'homme moderne a recours à des indicateurs artificiels qui lui fournissent une information précise et lui permettent de se situer avec exactitude dans le temps. Pour cette raison, l'homme a conçu des gardes-temps, dont les plus fréquemment utilisés sont les montres-bracelets.

Pour satisfaire aux impératifs dus au mode de vie, les qualités principales de la montre sont la précision et la fiabilité du module ou du mouvement qui la compose et la bonne forme sous laquelle l'information est présentée. L'information générée par l'affichage de la montre doit être facilement et rapidement appréhendée par l'utilisateur de façon à ce qu'il puisse en tirer aisément l'information qu'il désire. Cette dernière qualité dépend essentiellement du type d'affichage et de sa conception ergonomique.

L'affichage horloger le plus connu et le plus utilisé est l'affichage analogique. En effet, la représentation de l'heure à l'aide d'aiguilles existe depuis fort longtemps. Des générations ont voulu que l'homme s'habitue à cette méthode d'indication de l'heure qui, d'une part, représente, dans la même modalité, les principes classiques de la mesure du temps (rotation de la terre) et d'autre part, est en parfaite harmonie technique avec les horloges et montres du type mécanique qui transmet son déplacement périodique à un mécanisme à roues dentées. La montre à affichage à aiguilles permet en effet d'associer au système mécanique qui mesure

le temps un système de même nature pour indiquer l'heure, avec les avantages d'une conception et d'une fabrication homogènes et rationnelles, faisant appel à une technologie unique.

Avec l'apparition des montres à quartz, l'affichage à aiguilles est partiellement remplacé par des affichages électro-optiques de technologies voisines de celle du quartz et du circuit intégré oscillateur et diviseur de fréquence, utilisée dans chaque module électronique. En effet, tous ces éléments font appel à la méthode photolithographique. La nécessité d'homogénéité technologique a fait apparaître sur le marché ces nouveaux affichages dont le plus répandu, actuellement, est l'affichage numérique utilisant des LCD (Liquid Crystal Display).

Au niveau technique, le système numérique présente l'avantage d'être constitué d'une technologie ne comportant aucune pièce mobile (technologie "solid state"). Le nombre des composants essentiels est moindre; ainsi, la fabrication est rendue plus simple et les coûts diminuent. En revanche, le système analogique électronique comprend des éléments nécessitant des méthodes de fabrication différentes : la base de temps est électronique alors que l'affichage est composé de pièces mécaniques. Il ne peut réunir les avantages du système numérique.

Ces deux types d'affichages représentent l'information concernant le temps sous deux formes bien distinctes.

Dans le cas de l'affichage analogique, l'information est définie par la position des aiguilles des heures, minutes et secondes. Le temps peut être déterminé soit en identifiant le repère fixe du cadran pointé par l'aiguille, soit en évaluant le secteur angulaire compris entre l'aiguille et un repère du cadran choisi par l'utilisateur (repère des 30 ou 60 min. p. e.).

L'affichage numérique fournit à l'utilisateur une information codée avec des chiffres.

Apparemment, il semble qu'au niveau de la représentation de l'heure, l'affichage analogique détienne certains avantages par rapport au type numérique. Lorsque l'utilisateur désire connaître le temps qu'il lui reste avant qu'un événement attendu se produise (lecture relative), il n'est pas contraint à faire une opération arithmétique mentale; il lui suffit de considérer, sur le cadran, le secteur angulaire compris entre l'heure présente et l'heure à laquelle l'événement doit se dérouler. Il peut aussi voir rapidement qu'un point correspondant à un événement et associé à un repère du cadran, n'est pas encore atteint ou est dépassé.

De plus, il semble que les lectures approximatives sont plus aisées sur l'affichage analogique que sur l'affichage numérique. En utilisant les avantages de la représentation géométrique du temps sur l'affichage analogique, l'utilisateur a la possibilité de réaliser une lecture à 5 min. près, par exemple, en considérant optiquement le repère des 5 min. du cadran qui est le plus proche de l'aiguille des minutes. L'affichage analogique laisse le choix de la précision de lecture à l'utilisateur. En effet, cette méthode d'arrondissement optique est aussi valable pour des lectures à 15 min. ou 30 min. près. Par sa nature, l'affichage numérique impose à l'utilisateur une précision de lecture identique à celle des chiffres qui le composent. Ainsi, dans les cas de lectures précises, l'affichage numérique est certainement plus performant que l'affichage analogique; mais, si l'utilisateur ne désire obtenir qu'une information horaire approximative, il sera obligé de procéder à une opération mentale arithmétique d'arrondissement.

Afin de réunir les avantages des deux systèmes, de nouveaux types d'affichages ont été développés. Ils sont basés sur la même technologie que les affichages numériques. Typologiquement, ils se situent généralement entre l'affichage analogique et l'affichage numérique : l'information est présentée sous des formes intermédiaires aux représentations

avec aiguilles et avec chiffres.

La réalisation technologique de ces nouveaux types d'affichages ne présente pas de problèmes majeurs (Bouille et Monbaron, 1979). En revanche, le problème réside dans l'interaction entre l'homme et l'instrument. La question fondamentale est de savoir si ces nouveaux affichages sont un substitut valable pour l'adulte et l'adolescent. Pour répondre à cette question, il était nécessaire de mettre au point une méthode d'analyse de la lisibilité des affichages horlogers. Elle a pour objectif, d'une part, la comparaison des deux affichages connus (analogique et numérique) afin de confirmer ou d'infirmer certains stéréotypes (l'avantage de l'affichage analogique pour les lectures relatives et les lectures peu précises, p. e.), et, d'autre part, l'évaluation des nouveaux affichages dernièrement créés.

1. Problématique

Quotidiennement, l'homme est amené, pour diverses raisons, à consulter sa montre ou toute autre horloge afin de saisir de l'information concernant le temps. La prise de conscience de cette information lui permet d'agir ensuite.

Dans ce système homme-machine, l'affichage de la montre est l'émetteur de l'information. L'homme perçoit cette information à travers ses organes sensoriels (yeux, dans notre cas) qui sont l'entrée du récepteur humain. Il traite cette information et génère une réponse (sortie) qui peut être traduite, par exemple, par ses organes moteurs.

Différents modèles de représentation de la communication entre l'homme et la machine ont été proposés en ergonomie qui est la technologie des communications dans les systèmes hommes-machines (définition donnée par de Montmollin, 1967, p. 1).

Ces modèles sont issus de la théorie de l'information de Shannon.

Welford (1968, p. 19) a développé un modèle intéressant pour la représentation du système sensorimoteur humain.

Nous avons repris ce modèle en apportant quelques modifications (fig. 1)

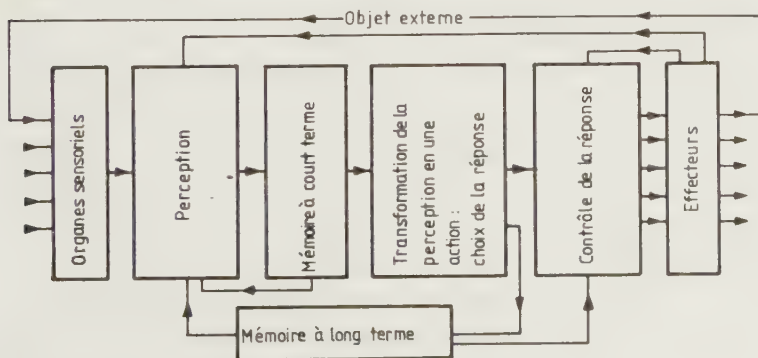


fig. 1

Ce modèle représente les fonctions de sensation ou détection du signal (entrée), de perception, de mémorisation à court terme, de transformation de l'information perçue en une action (choix de la réponse), de contrôle de la réponse, de l'action des effecteurs (réponses motrices, p.e.) et de la mémorisation à long terme. Seules les principales rétro-réactions existantes sont représentées avec ce modèle. En relation avec la théorie de l'information, Broadbent (d'après McCormick, 1976, p. 37) a émis l'hypothèse selon laquelle l'homme fonctionne en certains points comme un canal unique. Le cerveau ne peut traiter toutes les informations reçues par les organes sensoriels. La capacité de ce canal est limitée. Par exemple, lors de la lecture d'un texte, le sujet ne peut reconnaître qu'un certain nombre de mots par seconde.

Comme tout canal de transmission, le canal humain est soumis à des bruits d'ordres divers qui sont causes de perturbations : fatigue, distraction, alcool, etc.

Lorsqu'on parle du canal humain, on entend la "boîte noire" qui a pour entrée la fonction de sensation, pour sortie la réponse et dans laquelle est effectué l'ensemble du traitement de l'information.

A l'intérieur de ce canal, il est cependant possible de distinguer des sous-canaux correspondant à des processus différents de traitement de l'information.

Nous en distinguons trois :

- le canal de la perception
- le canal de la mémoire à court terme
- le canal de la mémoire à long terme

Pour chacun de ces canaux, il est possible de mesurer une capacité de canal.

Le modèle d'analyse du système homme-machine étant défini, il s'agit de déterminer les objectifs fixés en ergonomie. En effet, l'analyse du système n'est pas un but en soi, mais elle permet d'améliorer ce système.

McCormick (1976, p. 4) définit deux objectifs principaux :

- augmenter l'efficacité fonctionnelle du système

- maintenir ou augmenter certaines valeurs humaines entrant dans le processus (p. e. la sécurité, la satisfaction); ce second objectif est lié essentiellement au bien-être humain.

.1 Efficacité fonctionnelle

Lorsque le système est composé de l'homme et de l'affichage, l'efficacité fonctionnelle est définie par la qualité de la transmission de l'information dans le canal humain.

Elle dépend essentiellement des capacités physiologiques et psychologiques de l'homme et de la forme sous laquelle est représentée l'information, c'est-à-dire du type d'affichage. Comme il n'est pas possible de modifier les capacités humaines au-delà de certaines limites, il est nécessaire d'adapter l'affichage à l'utilisateur. Ainsi, un bon affichage permet la meilleure combinaison de vitesse, d'exactitude et de sensibilité lors de la transmission de l'information (Shackel, 1970, p. 86); on peut dire qu'il a une bonne lisibilité.

L'évaluation de l'efficacité fonctionnelle du système revient à analyser la lisibilité de l'affichage. Dans notre cas, la question à poser à la réalité est la suivante :

- 1) - Quel est le type d'affichage horloger qui a la meilleure lisibilité ?

En reprenant le modèle de Welford et les différentes définitions des canaux de transmission de l'information, la lisibilité peut être appréhendée sous trois angles distincts:

- la perception de l'information
- la mémorisation (à court et à long terme) de l'information
- le processus global de traitement de l'information par le système sensorimoteur humain.

1.1.1 Perception de l'information

Dans le processus de perception de l'information, deux fonctions différentes peuvent être définies :

- la détection ou sensation de l'information
- l'identification de l'information

La détection est définie par Gagné (d'après de Montmollin, 1967, p. 28) comme étant une fonction qui permet de constater uniquement la présence ou l'absence d'une différence dans l'énergie physique. Elle se traduit en un constat par tout ou rien : il y a ou non signal.

Cette définition est très proche du concept que McCormick (1967, p. 88) nomme "visibility" :

- "visibility" : la qualité d'un caractère ou d'un symbole qui le rend visible par rapport à son environnement.

La fonction de détection dépend, au niveau de l'affichage, des qualités optiques qui sont définies par :

- l'épaisseur des traits des symboles
- la forme des caractères (chiffres inclinés ou chiffres verticaux dans le cas d'un affichage numérique, p. e.)
- le contraste
- la couleur
- l'illumination

La détection du signal est aussi affectée par la position géométrique de l'affichage par rapport au système perceptif de l'homme.

Dans la réalité, la lecture de l'heure sur une montre bracelet est réalisée dans des conditions géométriques précises : l'angle visuel sous lequel apparaît l'affichage est généralement de 5°. En effet, les cadrans horlogers ont, pour la plupart d'entre eux, un diamètre de 3 cm et la lecture est effectuée lorsque l'affichage se situe à environ 35 cm des yeux.

L'angle α formé par la droite définie par l'oeil et le centre du cadran, d'une part et par la perpendiculaire au plan du cadran, d'autre part caractérise aussi la disposition géométrique du système (fig. 2).

Un bon affichage doit permettre à l'utilisateur de lire l'information même lorsque l'angle α est proche de $\pm 90^\circ$. Actuellement, la technologie permet de réaliser des affichages (cristal liquide, électrochromisme, électrophorèse) qui présentent un angle α de $\pm 90^\circ$ (Grandjean et al., 1979).

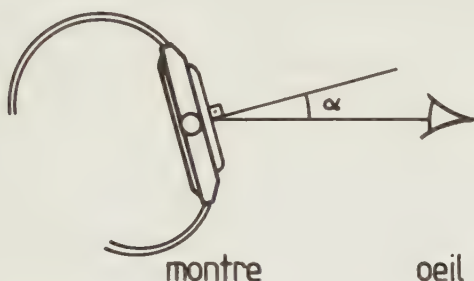


fig. 2

Pour notre étude, les différents types d'affichages considérés sont conçus et construits, en principe, sur la base de critères permettant une bonne détection. Nous n'évaluerons donc pas ces affichages en fonction de paramètres relatifs aux qualités optiques.

L'identification de l'information est une fonction plus complexe que la détection. Selon Gagné, elle consiste à classer les signaux de l'entrée du système sensorimoteur (signaux détectés) dans un certain nombre de catégories. Il s'agit du problème de la discrimination du signal. Ce concept est repris par McCormick (1976, p. 88) sous le nom de "legibility" :

- "legibility" : l'attribut des caractères et des symboles

qui permet d'identifier chaque caractère et symbole par rapport aux autres.

La fonction d'identification ou de discrimination pose le problème de saturation du canal humain (de Montmollin, 1967, p. 107). Comme nous le verrons plus loin, (p. 23) la capacité du canal humain n'est pas réellement une constante. Elle dépend de la forme sous laquelle l'information est codée, c'est-à-dire du type d'affichage.

Dans le cadre des fonctions perceptives, la question (1) que nous avons posée revêt l'aspect particulier suivant :

- (2) - Quel est le type d'affichage qui présente les meilleures qualités de perception de l'information qu'il contient ? Cette question est traitée expérimentalement dans le chap. 4.3.1.

1.1.2 Mémorisation de l'information

Dans le système sensorimoteur de l'homme, Welford, dans son modèle, distingue deux sortes de mémoire :

- la mémoire à court terme ou mémoire immédiate
- la mémoire à long terme ou mémoire permanente

Un troisième type de mémoire peut être déterminé au niveau des organes sensoriels; il s'agit de la mémoire sensorielle (Loftus et Loftus, 1967, p. 8). Elle intervient directement lors de la détection de l'information et ne peut être dissociée de cette fonction. Les qualités de mémorisation sensorielle de l'information de l'affichage ne peuvent pas être évaluées de façon particulière. Nous nous contentons uniquement d'en donner une brève description.

La mémoire sensorielle peut retenir une très large quantité d'information. La capacité de son canal est d'environ 10^9 bits/sec. (Steinbuch d'après McCormick, 1976, p. 37). Dans le cas du système visuel, cet organe est la rétine qui peut être considérée comme un élément périphérique

du cerveau ayant, entre autres, la fonction de mémoire locale.

Quand les bâtonnets et les cônes de la rétine sont excités par la lumière, ils génèrent un signal persistant qui est transmis à travers le nerf optique au système nerveux central. Par exemple, un éclair de 1 milliseconde persiste, au niveau neurophysiologique, pendant quelques centaines de millisecondes (Fitts et Posner, 1967, p. 63).

La mémoire à court terme permet de retenir pendant un laps de temps relativement court, environ 10 secondes (Frank, 1967, p. 85) une quantité d'information ou un nombre d'unités de représentation limité.

Selon certains auteurs (Frank, 1967, p. 90, p.e.), la dimension de cette mémoire peut être mesurée par une quantité d'information; elle serait d'environ 160 bits. Dans ce cas, la capacité du canal de la mémoire à court terme qui est le débit maximal d'information par unité de temps serait de 16 bits/sec. Selon d'autres auteurs (Miller d'après Loftus et Loftus, 1967, p.44, p.e.), la capacité de la mémoire immédiate est quantifiée en unités de représentation ou "paquets" (dénomination donnée par de Montmollin, 1967, p. 90). Ces unités peuvent être des chiffres, des lettres, des mots, des proverbes. Dans cette conception, la dimension de la mémoire immédiate est de 7 ± 2 unités de représentation; c'est le fameux nombre magique évoqué par Miller (1956). La capacité du canal donnée en nombre de bits/sec. dépend alors de la forme sous laquelle l'information est codée.

La mémoire à court terme a deux fonctions principales lors de la lecture de l'heure.

Dans le processus opérationnel de l'homme, elle intervient dans la fonction de discrimination du signal et dans la transformation de l'information perçue en une action. Cette première fonction ne peut être analysée pour elle seule. En revanche, la seconde fonction qui est la mémorisation

simple de l'information peut être évaluée en fonction des différents types d'affichages. Concrètement, la mémoire immédiate est utilisée lorsqu'il y a transmission de l'information à une autre personne, peu de temps après que l'utilisateur a effectué une lecture de l'heure.

La mémoire à long terme est utilisée pour mémoriser l'information pendant de longues durées.

La capacité d'emmagasiner de la mémoire permanente est assez controversée : Frank (1967, p. 95) pense qu'elle est située entre 10^5 et 10^7 bits. Greyer et Johnson (d'après McCormick, 1967, p. 39) la situe entre 10^8 et 10^{15} bits. La capacité du canal de la mémoire à long terme est en général estimée à 0,7 bit/sec. Son débit est inférieur à celui de la mémoire temporaire, bien que sa dimension soit supérieure.

Dans le cas de la lecture de l'heure, la mémoire permanente a deux fonctions.

Au niveau du processus opérationnel humain, elle fournit des ordres de filtrage au mécanisme de détection du signal. Elle procure les "schémas de choix" nécessaires pour procéder à l'identification de l'information (de Montmollin, 1967, p.30). Ces schémas permettent d'assurer une certaine constance perceptive. Leur présence dans la mémoire à long terme résulte de processus d'apprentissage. A nouveau, cette fonction ne sera pas évaluée séparément.

La seconde fonction de la mémoire à long terme est la mémorisation durable de l'information concernant le temps. Elle a pour conséquence d'éviter au sujet d'effectuer inutilement des lectures. Cette fonction peut être analysée par rapport aux différents types d'affichages.

Dans cette dernière fonction, la qualité de la mémorisation à long terme de l'information de l'affichage n'a pas de conséquence directe sur l'efficacité fonctionnelle du système (lisibilité), mais sur la fréquence d'utilisation du processus opérationnel.

En considérant les mémoires à court et à long terme pour les

cas précis où l'information de l'heure doit être retenue pendant une durée variable, la question à poser à la réalité revêt la forme suivante :

- 3) - Quel est le type d'affichage qui présente les meilleures qualités de mémorisation à court et à long terme ?

La réponse à cette question est apportée dans le chap. 4.3.2.

.1.3 Processus de traitement de l'information

Dans les deux sections précédentes, l'efficacité fonctionnelle du système homme-affichage a été analysée pour deux composants du processus opérationnel de l'homme : la perception et la mémorisation de l'information.

Ces deux façons d'appréhender le problème de la lisibilité n'apportent pas de réponse définitive car elles ne permettent pas d'évaluer les différents types d'affichages pour le processus opérationnel pris dans sa totalité. Elles permettent cependant de mieux comprendre certains facteurs intervenant dans l'opération de lecture de l'heure.

Pour répondre à la première question (voir p. 19), il est nécessaire de considérer le concept d'efficacité fonctionnelle dans sa totalité. La lisibilité doit être analysée pour le processus global de traitement de l'information du système sensorimoteur humain.

Après que l'information a été détectée et identifiée, elle est transformée en une action. Cette transformation nécessite une interprétation de l'information. Selon Gagné (d'après de Montmollin, 1967, p. 30), la fonction d'interprétation est la plus complexe. Elle se distingue de l'identification par le fait que l'homme tient alors compte non seulement des caractéristiques immédiatement apparentes des entrées (sensations) mais également de l'effet attendu, c'est-à-dire qu'il leur donne une signification.

L'interprétation de l'information permet ensuite de choisir et de générer une réponse (action) qui consiste à agir ou ne pas agir, p. e., il faut se lever ou ne pas se lever.

La lisibilité prise pour le processus opérationnel global correspond à ce que Neubauer (1972, p. 300) nomme "Lesbarkeit".

- "Lesbarkeit" : la qualité qui permet la compréhension rapide et précise d'une information.

L'interprétation de l'information, son traitement et le choix de la réponse dépendent essentiellement des intentions du sujet ou des consignes qu'il a reçues.

Lors de la lecture de l'heure, les différentes intentions de l'utilisateur engendrent différentes activités perceptives, c'est-à-dire différents types de lecture. Elles sont caractérisées par :

- le genre de la réponse qui détermine le mode de lecture
- la précision de la réponse qui détermine la précision de lecture

Mode de lecture

Le fait d'indiquer l'heure à quelqu'un ne correspond pas au même genre de traitement d'information que le fait de connaître le temps qui reste avant le départ d'un train. Dans le premier cas, il s'agit de décoder l'heure affichée sur le cadran; dans le second, l'utilisateur doit soustraire le temps affiché sur le cadran du temps auquel le train doit partir.

Nous distinguons quatre modes de lecture principaux.

- 1) En général, l'information représentée par l'affichage horloger correspond au temps présent : la lecture du cadran donne l'heure qu'il est à ce moment; c'est la lecture absolue.

Exemples :

- lecture ayant pour but d'indiquer l'heure à quelqu'un
- première lecture lorsque l'utilisateur désire mesurer une durée. Cette première lecture tient lieu de référence à la deuxième lecture qui indique le temps écoulé

- 2) En transformant le temps absolu affiché, il est possible d'obtenir un autre genre d'information qui est lié à un EVENEMENT plus ou moins bien défini dans le temps.

La prise de l'information peut générer une réponse dichotomique du type oui/non liée au fait que l'événement attendu doive ou ne doive pas se produire. La lecture correspondant à ce genre de réponse est appelée dichotomique.

Exemples :

- lecture permettant de savoir si c'est le moment ou non de mettre les enfants au lit
- lecture permettant de savoir s'il est l'heure ou non de prendre la pause

L'événement attendu peut être défini par un instant très précis ou par une durée plus vague. L'instant très précis pourrait être l'heure à laquelle il faut partir pour travailler. La lecture de l'heure génère une réponse du type : il est l'heure ou il n'est pas l'heure de partir. La durée plus vague serait le milieu de l'après-midi qui est lié à une réponse du type : on se situe dans la première moitié de l'après-midi ou dans la seconde moitié.

- 3) Lorsque l'utilisateur souhaite estimer de manière qualitative le temps qu'il reste par rapport à un événement, il réalise une lecture relative qualitative.

Exemples de réponses liées à une lecture qualitative :

- il est bientôt l'heure de partir
- il reste peu de temps avant le repas.

- 4) La lecture relative qualitative n'est pas toujours satisfaisante. L'utilisateur veut estimer de manière quantifiable le temps qui reste jusqu'au moment où doit se produire l'événement ou le temps écoulé depuis cet événement; dans ce cas,

il s'agit d'une lecture relative quantitative.

Exemples de réponses liées à une lecture quantitative :

- il reste 10 min. avant le départ du bus.
- cette personne est en retard de 15 min.

Le cas d'une lecture de contrôle permettant de vérifier la marche d'une montre par rapport à une autre montre servant d'étalon est considéré comme lecture relative quantitative. La montre-étalon est assimilée à l'événement qui tient lieu de repère.

Théoriquement, il est facile de distinguer la lecture relative qualitative de la lecture relative quantitative; pratiquement, cette différenciation est moins claire. La réponse qualitative ne provient pas toujours d'une lecture purement qualitative mais peut être la conséquence d'une transformation d'une lecture quantitative. Par exemple, le fait de savoir qu'il reste 20 minutes avant le départ du train indique qu'il faut bientôt partir.

En résumé, quatre modes principaux de lecture ont été définis en fonction de la transformation de l'information contenue dans l'affichage. Ils peuvent être représentés sur une échelle ordinale qui est construite avec le degré de complexité de cette transformation. (fig. 3)

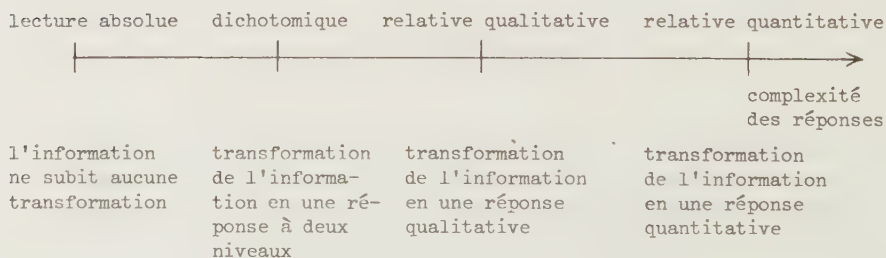


fig. 3

Précision de lecture

Une montre conventionnelle indique des informations de natures différentes : date, jour de la semaine, heure, minute et seconde.

Dans l'analyse nous concernant, seules les informations relatives aux heures, minutes et secondes sont prises en considération.

Lorsqu'un utilisateur lit l'heure, il a tout loisir de transformer ces informations au niveau de la précision en fonction de ses intentions. Par exemple, si une personne veut savoir si il reste plus ou moins d'une demi-heure avant 4 heures, elle regardera si l'aiguille des minutes est située dans le demi-disque droit ou dans le demi-disque gauche du cadran. Le fait que l'aiguille des minutes soit sur 21 minutes plutôt que sur 24 minutes n'a pas d'importance; dans ce cas la lecture est réalisée à la demi-heure près.

La précision avec laquelle la transformation de l'information est effectuée est indépendante du mode de lecture. Par exemple, dans le cas d'une lecture absolue, un sportif mesurant sa performance obtiendra une réponse très précise alors que la personne qui transmet l'heure à son voisin, transforme l'information brute avec une précision à 5 ou 10 minutes.

Sept catégories ordonnées selon une précision croissante ont été définies :

Précision de lecture à l'heure

- à la demi-heure
- au quart d'heure
- à 10 minutes
- à 5 minutes
- à la minute
- à la seconde

La lisibilité, considérée pour la totalité du processus opérationnel, dépend de deux variables indépendantes : le mode et la précision de lecture.

En conséquence, la nouvelle question à poser à la réalité devient :

- (4) - Pour chacune des différentes intentions de l'utilisateur, caractérisées par le mode et la précision de lecture, quel est le type d'affichage qui présente les meilleures qualités de lisibilité ?

Les expériences relatives à cette question sont contenues dans le chap. 4.3.3.1.

La réponse à cette question ne permet pas encore de déterminer quel est l'affichage qui est le mieux adapté à l'utilisation de la montre dans la réalité. A priori, nous pouvons penser que certains modes de lecture sont plus souvent utilisés que d'autres. Comme l'homme règle son rythme de vie sur certains événements de la journée (départ au travail, repas, etc.), les lectures relatives sont certainement plus fréquentes que les lectures absolues. Les différentes précisions de lecture définies ne sont certainement pas équiprobables.

Il est donc nécessaire de pondérer la première réponse en fonction des fréquences d'utilisation réelle.

En tenant compte de cette considération, nous pouvons poser une nouvelle question à la réalité qui est issue de la précédente (4) :

- (5) - En fonction de l'utilisation de la montre dans la réalité caractérisée par les fréquences d'apparition des différents modes et précisions de lecture, quel est le type d'affichage qui présente les meilleures qualités de lisibilité ?

Les chap. 4.2 et 4.3.3.3 ont pour objectif de répondre à cette question.

Comme il a été précisé dans l'introduction, le but de ce travail est l'évaluation d'affichages de conception conventionnelle et d'affichages de conception nouvelle. Les deux affichages conventionnels sont l'affichage analogique

et l'affichage numérique.

Pour les adultes, l'affichage analogique est le premier affichage qu'ils ont connu. Ils ont souvent appris à lire l'heure avant même d'avoir atteint l'âge de scolarité. Cet affichage est donc assimilé à un haut degré.

Tout laisse à penser qu'il en est de même avec l'affichage numérique. D'une part, l'adulte est en contact quotidiennement avec des représentations numériques du temps : horaires des trains, horloges publiques, programmes de radio et télévision, etc; d'autre part, il connaît, dès ses premières années de scolarité, les chiffres et les opérations arithmétiques qui régissent les nombres.

Les nouveaux affichages que nous nous proposons d'évaluer se situent typologiquement, comme nous l'avons précisé dans l'introduction, entre l'affichage analogique et l'affichage numérique. Ils ont donc des liens communs avec ces deux types d'affichage. Cependant, la lecture de l'heure sur ces nouvelles conceptions nécessite certainement une phase d'apprentissage de durée variable; elle dépend du type d'affichage.

Dans le premier objectif fixé en ergonomie, il est important que le processus de lecture puisse être rapidement acquis. Cela ne signifie toutefois pas qu'un affichage demandant une longue phase d'apprentissage ne présenterait pas de bonnes qualités de lisibilité.

En conséquence, une nouvelle forme de question peut être élaborée :

- (6) - Parmi les nouveaux types d'affichages, quel est celui qui présente la phase d'apprentissage la plus courte ?
Le lecteur trouvera la réponse à cette question dans le chap. 4.3.3.2.

1.2 Valeurs humaines

La conception d'un affichage ne doit pas être uniquement réalisée dans le but de lui attribuer une bonne efficacité fonctionnelle, mais aussi dans le but de remplir un certain nombre de valeurs humaines telles que la satisfaction ou

la charge de travail (second objectif défini en ergonomie).

En général, lors de la conception des affichages pour des postes de contrôle industriel, la charge de travail provoquée par la fatigue due à la lecture de l'affichage est un facteur essentiel à prendre en considération. Non seulement cette charge a pour conséquence de diminuer la satisfaction au travail, mais elle peut être cause d'infiabilité du système homme-machine. Cette fatigue est engendrée principalement par un contenu informationnel très dense, une mauvaise qualité de lisibilité de l'affichage et des lectures nombreuses.

Dans le cas de l'utilisation quotidienne de la montre en tant que source d'information, le contenu informationnel est restreint et les lectures sont peu fréquentes. Ces lectures ne devraient donc pas être cause de fatigue. Cependant, il sera nécessaire de prendre en considération le facteur dû à la fatigue lors de l'évaluation de la lisibilité en laboratoire : de trop nombreuses lectures provoqueraient une infiabilité du système et auraient pour conséquence de biaiser les résultats.

Dans le cas particulier de l'affichage horloger, il est nécessaire de s'éloigner quelque peu du concept ergonomique de l'affichage, instrument considéré comme ayant uniquement une composante informationnelle.

A côté de la valeur fonctionnelle, la montre reflète certaines valeurs socio-esthétiques et affectives.

En effet, dans notre société, la montre est souvent représentative du rang social occupé par le porteur. Ainsi, certaines entreprises ne fabriquent que des montres destinées à une clientèle financièrement aisée. De plus, l'aspect extérieur de la boîte et du bracelet ainsi que le matériau utilisé confère à la montre l'apparence d'un bijou. Dans ce cas, elle véhicule des valeurs esthétiques et sociales.

La montre ne véhicule parfois que des valeurs esthétiques si l'acheteur fait son choix uniquement en fonction de critères de beauté.

La montre a aussi des valeurs affectives. Elle peut représenter un événement particulier : elle fait quelquefois l'objet d'un cadeau. Elle peut aussi rappeler un être cher. Les valeurs affectives proviennent aussi du fait que c'est un objet qui accompagne régulièrement l'homme.

La montre reflète certaines valeurs relatives au progrès technologique de notre société. En effet, la conception technique de la montre suit l'évolution technologique de la mécanique et de l'électronique.

Dans le domaine de la mécanique, certains types de montres apparus dernièrement sur le marché sont réalisés avec les éléments mécaniques les plus élaborés en vue d'obtenir une miniaturisation extrême.

En électronique, les premières montres ont été réalisées avec des éléments mécaniques et des composants électroniques discrets. Ensuite, la montre a été constituée uniquement avec des circuits intégrés, mais dans une solution en logique câblée. Actuellement, la tendance est de réaliser les modules électroniques avec de la logique programmée (microprocesseurs).

Il convient donc d'appréhender la satisfaction à travers la préférence pour les différents types d'affichages en fonction des genres d'utilisations socio-esthétiques et affectives.

La question à poser à la réalité devient :

- 7) - Quel est le type d'affichage auquel sont attribuées les meilleures valeurs socio-esthétiques et affectives ?

Le chap. 4.4. tente de répondre à cette question.

Dans le cadre de cette étude de préférence, il est intéressant de ne pas se limiter aux utilisations socio-esthétiques

et affectives de la montre, mais d'analyser les utilisations fonctionnelles telles qu'elles ont été définies dans le chapitre précédent.

L'étude de la préférence des différents types d'affichages en fonction de l'utilisation fonctionnelle permet de compléter et de consolider l'analyse ergonomique concernant l'efficacité fonctionnelle par une mise en lumière des jugements subjectifs.

En conséquence, la nouvelle question à poser à la réalité est :

- (8) - Quel est le type d'affichage auquel sont attribuées les meilleures valeurs fonctionnelles ?

Cette question est également traitée dans le chap. 4.4.

La réponse à cette question devrait permettre de vérifier l'hypothèse selon laquelle les préférences relatives à l'aspect utilitaire d'un type d'affichage correspondent aux résultats de l'évaluation de l'efficacité fonctionnelle de ce type d'affichage. Concrètement, le type d'affichage auquel sont attribuées les meilleures valeurs fonctionnelles devrait être celui qui détient les meilleures qualités de lisibilité (question 5, p. 30) qualités analysées en fonction du système sensorimoteur de l'homme.

2. Etudes réalisées dans le domaine de la lisibilité des affichages horlogers

Il existe un très grand nombre de recherches sur la lisibilité des affichages et des cadrans utilisés pour les postes de contrôle industriel, de pilotage, de contrôle aérien, de navigation, etc. Certaines sont décrites par McCormick (1976) et par Chapanis (1959).

A notre connaissance, quatre études seulement portent sur la lisibilité des affichages horlogers : Neubauer, 1972; van Nes, 1971; Cey-Bert, 1970 et Zeff, 1965.

Une cinquième publication (Sinclair, 1971) fait la synthèse des recherches de van Nes et Zeff.

Toutes ont pour objectif la comparaison de la lisibilité de l'affichage analogique avec celle de l'affichage numérique.

Pour tous les cas, la lisibilité correspond au processus global de traitement de l'information tel qu'il a été défini au chap. 1.1.3.

Lors des expériences, toutes les consignes données aux sujets leur demandaient de réaliser des lectures correspondant à la précision donnée par l'affichage (précision à la seconde ou à la minute). Aucun résultat n'a été pondéré en fonction de l'utilisation réelle de la montre.

2.1 Recherche effectuée par Neubauer (1972)

Objectifs

Neubauer a développé une étude sur la lisibilité ("Lesbarkeit", voir chap. 1.1.3) des affichages analogique et numérique en fonction du mode de lecture. Seuls les modes absolu et relatif sont considérés dans cette évaluation.

Les critères d'évaluation de la lisibilité sont le temps et l'erreur de lecture. Le temps de lecture est défini comme étant une durée d'exposition individuelle. Il est mesuré entre le temps d'apparition de l'affichage et le moment où le sujet croit avoir trouvé l'information recherchée; à cet instant, l'affichage disparaît. La réponse est admise comme juste si elle a une précision de $\pm$ une minute.

Pour l'expérience, les différentes valeurs représentées par les affichages n'ont pas été sélectionnées aléatoirement, mais en fonction de la fréquence de répartition des lectures au cours d'une journée.

Lors du test de la lecture relative, trois consignes différentes pouvaient être données aux sujets : établir la différence entre :

- le temps affiché et la prochaine heure entière
- le temps affiché et la prochaine demi-heure
- le temps affiché et les prochains 3/4 d'heure

Résultats

Les résultats obtenus montrent que :

- 1) la lecture absolue est deux fois plus rapide avec l'affichage numérique
- 2) la lecture relative est deux fois plus rapide avec l'affichage analogique

Neubauer explique cette différence de performance par le fait que, sur l'affichage numérique, seul le temps présent est visible. La lecture absolue en est facilitée.

Lors d'une lecture relative, il est nécessaire de se représenter mentalement le temps auquel l'événement doit se produire. Ce temps peut être reporté directement sur l'affichage analogique par l'intermédiaire d'une aiguille imaginaire; cet affichage est mieux adapté à ce mode de lecture.

En conséquence des résultats, l'auteur pense que la meilleure solution résiderait dans un système composé des affichages analogique et numérique.

Critique

Pour Neubauer, il existe deux types de lecture principaux : la lecture absolue et la lecture relative. Il ne considère pas la lecture dichotomique qui, à notre avis, est très importante.

L'évaluation de la lisibilité dans le mode de lecture relative ne couvre pas tous les cas rencontrés dans la réalité. En effet, le temps représentant l'événement attendu ne correspond pas forcément à l'une des trois valeurs définies. Ces temps "repères" devraient être choisis aléatoirement dans l'ensemble de l'intervalle du temps. Neubauer définit le temps et l'erreur de lecture comme critère d'évaluation de la lisibilité; mais il ne donne aucun résultat concernant les erreurs de lecture. De plus, il ne donne aucune précision concernant le nombre de personnes qui ont participé à l'évaluation et la séquence dans laquelle se sont déroulés les différents tests.

2.2 Recherche effectuée par van Nes (1971)

Objectifs

La lecture relative est, à priori, fréquemment utilisée. Van Nes a entrepris une évaluation de la lisibilité des affichages analogique et numérique pour la lecture relative. Il s'est intéressé au cas où la différence entre le temps présent (temps indiqué par la montre) et le temps affiché sur un horaire ou un programme doit être déterminée. De telles situations se présentent lorsqu'il est nécessaire de connaître le temps qu'il reste avant le départ d'un train ou avant le début d'une émission télévisée. Van Nes s'est limité à de petites différences de temps (<1h.35).

Sa méthode consiste à présenter simultanément des paires d'affichages. Le premier affichage indique le temps présent; le second l'heure à laquelle l'événement attendu se produira. Les sujets doivent procéder à la soustraction des deux temps. Le résultat est demandé avec la précision à la minute.

Trois séries différentes ont été testées. La première série est constituée de paires d'affichages analogiques; la deuxième de paires d'affichages numériques et la troisième d'un affichage analogique pour la représentation de l'heure présente et d'un affichage numérique pour l'heure correspondant à l'événement.

La lisibilité est déterminée, d'une part, par le temps nécessaire au sujet pour effectuer les 8 soustractions des 8 paires d'affichages composant la série de test et, d'autre part, par l'erreur de lecture.

Résultats

Les résultats mettent en évidence que :

- 1) Les soustractions effectuées avec les paires d'affichages numériques nécessitaient deux fois moins de temps que celles réalisées avec les paires d'affichages analogiques.
- 2) Les erreurs commises sur les paires d'affichages numériques sont deux à trois fois moins nombreuses que celles provenant des paires d'affichages analogiques. Les soustractions en modalité analogique-analogique sont caractérisées par des erreurs d'opération dans les étapes de la soustraction et de perception. Les erreurs d'opération sont dues au fait que le sujet a oublié d'additionner ou de soustraire un secteur angulaire. En modalité numérique-numérique, elles le sont par des erreurs de calcul mental et de conversion numérique-analogique.
- 3) Il n'y a pas de différence significative entre les paires composées d'affichages analogiques et les paires mixtes.

Les petites différences de temps sont donc déterminées sur les affichages numériques plus rapidement et avec moins d'erreurs.

Van Nes remarque que le temps correspondant à l'événement futur est souvent représenté par une image mentale qui

aurait pour conséquence d'augmenter les erreurs. En extrapolant, l'auteur de cette étude pense que l'affichage numérique devrait être aussi meilleur dans ce cas.

En revanche, l'affichage analogique pourrait présenter une meilleure lisibilité lorsque la lecture n'exige pas une grande précision.

Pour ces raisons, van Nes estime, comme Neubauer, qu'une montre composée des deux types d'affichages serait la solution idéale.

Critique

La situation analysée par van Nes doit être, nous semble-t-il, très peu fréquente. La lecture d'un horaire ou d'un programme ne peut être représentative de la lecture de l'heure. De plus, la lecture d'un horaire n'implique pas forcément la détermination d'une différence mais peut uniquement servir à mémoriser l'information.

La généralisation de la représentation physique d'affichage représentant l'événement futur à une représentation mentale nous paraît dangereuse. Il serait d'abord nécessaire de préciser cette image mentale. Est-elle seulement la représentation d'un affichage ?

L'hypothèse selon laquelle la lecture relative peu précise est meilleure avec un affichage analogique est intéressante. Aussi suffirait-il de la vérifier.

2.3 Etude effectuée par Cey-Bert (1970)

Objectifs

Trois objectifs ont été fixés dans la recherche effectuée par Cey-Bert :

- déterminer la lisibilité des affichages analogique et numérique
- rechercher le schéma perceptif lié à chacun des deux affichages
- rechercher les effets psychologiques de la lecture de l'heure.

Au niveau méthodologique, la recherche a été divisée en deux parties :

- test de perception pour déterminer la lisibilité de l'heure
- étude psychologique en profondeur pour déterminer les effets psychologiques de la lecture de l'heure sur les deux systèmes d'affichages; elle est complétée par une enquête sur l'attitude de personnes envers ces deux systèmes.

La lisibilité est évaluée avec les critères de la rapidité de lecture et de la précision de la réponse. L'étude ne prend en considération que la lecture absolue.

Dans une première expérience, les deux types d'affichages apparaissaient simultanément pour obtenir de l'information sur la lisibilité dans un "contexte perceptif compétitif". Lors de ce test, deux types d'information sont relevés, d'une part les erreurs de lecture, d'autre part le type d'affichage que les sujets ont regardé en premier lieu. L'affichage qui attire le plus le regard est ainsi déterminé. Dans une seconde expérience, les deux types d'affichages ont été présentés séparément pour obtenir des points de comparaison sur leur lisibilité respective dans un "contexte individuel".

Pour les deux expériences, le temps d'exposition de l'affichage ou des deux affichages est imposé au sujet. Il est compris entre 1 et 1,5 sec. Cette imprécision du temps d'exposition est due au fait qu'aucun tachistoscope n'a été utilisé. Le sujet a pour consigne de restituer l'information affichée. Les erreurs commises sont comptabilisées.

Résultats

Dans la première expérience, les réponses provenant de la lecture de l'affichage analogique sont réparties dans trois catégories : réponses exactes, réponses avec une erreur de quelques minutes, réponses inexactes.

Les réponses dues à la lecture de l'affichage numérique sont réparties dans deux catégories : réponses exactes et réponses inexactes. Les résultats obtenus (ils sont basés sur 40 lectures par type d'affichage), mettent en évidence que :

- 1) le nombre de réponses exactes obtenu avec la lecture de l'affichage numérique est deux fois supérieur au nombre obtenu avec l'affichage analogique
- 2) le nombre de réponses inexactes est comparable pour les deux systèmes
- 3) par conséquent, le nombre de réponses exactes provenant de la lecture de l'affichage numérique est égal à la somme des réponses exactes et de celles comportant une erreur de quelques minutes obtenue avec l'affichage analogique.

Cette première expérience a aussi permis de relever que l'affichage numérique attire davantage le regard que l'affichage analogique.

Dans la seconde expérience, les réponses apportées par les sujets qui ont lu l'affichage analogique sont réparties dans trois catégories : réponses justes à la minute près, écart de quelques minutes, la lecture n'a pu être effectuée.

Les réponses provenant de la lecture de l'affichage numérique sont réparties dans quatre catégories : réponses justes à la seconde près, réponses justes à la minute près, erreurs (certains chiffres justes), la lecture n'a pu être effectuée.

Les résultats montrent que :

- 1) la somme des réponses à la seconde et à la minute près obtenue lors de la lecture de l'affichage numérique est égale au nombre de réponses à la minute près obtenu avec l'affichage analogique
- 2) d'autres comparaisons ne sont pas possibles car le nombre d'erreurs relevé dans les autres catégories est faible. Cette expérience ne comporte d'ailleurs que 20 lectures par type d'affichage.

Sur la base de ces résultats, Cey-Bert, bien qu'il n'évoque aucun test statistique, relève que les différences entre la lisibilité de la montre classique et la montre à affichage numérique sont peu significatives, mais que la lecture est réalisée plus exactement sur l'affichage numérique que sur l'affichage analogique.

L'auteur remarque que l'affichage numérique utilisé lors du test présentait de meilleures qualités perceptives. Mais ces avantages visuels ont été contrebalancés par la "puissance de perception" de l'affichage analogique. En effet, l'affichage analogique correspond à un schéma perceptif puissant et facilement disponible. Selon l'auteur, le processus du mécanisme de perception pour déterminer la lisibilité est plus simple avec l'affichage analogique. Ce dernier ne nécessiterait qu'une seule fixation oculaire; la durée de perception serait de 0,5 sec. L'affichage numérique (composé de trois paires de chiffres) en nécessiterait trois (une par paire); la durée totale de perception serait de 1,5 sec. Par conséquent, bien que les résultats des tests soient peu significatifs, Cey-Bert affirme que la lisibilité de l'affichage analogique est supérieure à celle de l'affichage numérique.

L'étude des effets psychologiques de la lecture de l'heure met en évidence une différence de signification des deux systèmes d'affichage.

Sur le plan affectif, l'affichage analogique est considéré comme sécurisant; il donne l'illusion de l'éternel retour. Au niveau fonctionnel, il permet une meilleure estimation du temps qui reste jusqu'au rendez-vous attendu (lecture relative).

Cette idée est confirmée par l'attitude des personnes interrogées qui est plus favorable à l'affichage analogique. La signification de l'affichage numérique est moins personnelle, moins rassurante, moins humanisée et moins positive. Cependant, il n'en reste pas moins qu'elle évoque le progrès

et les exploits technologiques de l'homme.

La montre à affichage numérique est considérée par les personnes interrogées comme plus précise.

Cey-Bert conclut que ce dernier aspect est certainement la clé de la promotion des montres à affichage numérique.

Critique

Nous pensons que l'évaluation de la lisibilité réalisée par Cey-Bert contient un certain nombre d'imprécisions :

- L'auteur mesure la lisibilité en comptabilisant les réponses exactes que les sujets ont réalisées lorsque le temps de lecture est imposé. La comparaison du nombre de réponses exactes obtenues dans la première expérience met en évidence que l'affichage numérique en a provoqué deux fois plus que l'affichage analogique. Ainsi, l'auteur relève que la lecture sur l'affichage numérique est réalisée plus exactement que sur l'affichage analogique. Nous pouvons donc nous étonner que l'auteur affirme, sans aucune preuve statistique, que les résultats sont peu significatifs et qu'il prétende que ces résultats démontrent, d'une façon très discrète, la supériorité de l'affichage analogique.
- Nous nous étonnons aussi du fait que Cey-Bert, sans aucune justification, n'utilise les mêmes classes d'erreurs ni entre les deux expériences, ni entre les types d'affichages. L'évaluation des deux types d'affichages est rendue ainsi plus précaire.
- Selon Cey-Bert, l'affichage numérique aurait une moins bonne lisibilité car sa lecture nécessiterait trois fixations oculaires au lieu d'une seule pour l'affichage analogique.

Cette hypothèse, sur laquelle est basée une partie importante de cette recherche, demanderait à être vérifiée expérimentalement. Rien ne permet d'affirmer que la lecture de l'affichage analogique nécessite une seule fixation et qu'une fixation est nécessaire par paire de chiffres composant l'affichage numérique. En effet, il

n'est pas possible d'établir une relation entre le nombre de fixations oculaires et le nombre d'éléments perçus. Une seule fixation permet la perception de l'information provenant d'éléments différents (plusieurs paires de chiffres ou plusieurs mots, p. e.).

De plus, la durée d'une fixation oculaire n'est pas constante et elle n'est pas de 500 msec. Levy-Schoen (1969, p. 188) donne une plage qui est comprise entre 150 et 400 msec.

2.4 Recherche effectuée par Zeff (1965)

Objectifs

L'accomplissement de certaines tâches a recours au relevé écrit du temps. Cet enregistrement écrit fait partie de la vie des navigateurs nautiques, des contrôleurs aériens, des ingénieurs de centrales énergétiques et de bien d'autres. Dans ces situations professionnelles, l'information relevée correspond au temps présent. Il s'agit de lecture absolues.

Zeff a réalisé une étude sur la lisibilité des affichages analogique et numérique pour leur utilisation lors de ces tâches spécifiques. Cette évaluation est complétée par une comparaison entre les affichages indiquant le temps de 0 à 12 heures, qui est une représentation "ante meridiem" de l'heure (affichages conventionnels), et ceux l'affichant de 13 à 24 heures qui est une représentation "post meridiem". Il faut distinguer ce dernier type d'affichage du modèle qui donne l'information de 0 à 24 heures (horloges numériques d'aérogares, p. e.).

Deux critères permettent d'évaluer la lisibilité. L'un a trait au temps de réaction mesuré entre l'apparition de l'affichage et la réponse écrite au sujet. Cette dernière doit avoir la précision de la minute et être donnée sous la forme numérique. L'autre a trait à l'erreur de lecture.

Résultats

L'expérience, basée sur un total de 1600 lectures, met en évidence que :

- 1) la lecture est trois fois et demie plus rapide sur l'affichage numérique que sur l'affichage analogique (représentation 0 - 12 h.)
- 2) les erreurs de lecture sur un affichage analogique (0 - 12 h.) sont 14 fois plus élevées que sur un affichage numérique
- 3) aucune différence significative entre les modèles à indication des 0 - 12 heures et ceux à indication des 13 - 24 heures ne peut être mesurée.

Une classification des erreurs commises sur l'affichage analogique met en évidence deux types d'erreurs : les lectures où la précision de la réponse est à une ou deux minutes et celles où la précision de la réponse est à cinq minutes. Elles représentent 55% des erreurs relevées.

Critique

Cette étude repose sur une situation de lecture de l'heure très particulière; elle démontre la supériorité de l'affichage numérique pour les lectures absolues à la précision de la minute lorsque l'information doit être transcrite sous forme numérique.

La méthode expérimentale utilisée par Zeff nous paraît très bien structurée.

2.5 Questions ouvertes

Sur les quatre recherches exposées, deux seulement (Neubauer et Cey-Bert) tentent d'analyser le problème de la lecture de l'heure pour l'utilisation générale de la montre. Les deux autres (Van Nes et Zeff) se réfèrent à des situations bien spécifiques.

Dans le mode de lecture absolue et à la précision de la minute, l'expérience de Neubauer et celle très particulière de Zeff ont démontré la supériorité de l'affichage numérique. Ce résultat est confirmé par une évaluation de la lisibilité (Nason et Bennett, 1973) d'affichages numériques à un, deux ou trois chiffres (compteurs) et d'affichages constitués d'échelles analogiques (cadrans). Les compteurs sont plus rapidement lus que les cadrans et les erreurs n'apparaissent que dans la lecture des cadrans.

Lors de lectures relatives, les résultats sont apparemment contradictoires. Si le temps correspondant à l'événement à venir (temps de référence) est sous la forme d'une représentation mentale et qu'il prend la valeur de la prochaine demi-heure, des prochains trois-quarts d'heure ou de la prochaine heure entière (Neubauer), l'affichage analogique est meilleur. Si le temps de référence est représenté physiquement par un affichage numérique (van Nes), l'affichage numérique a de meilleures qualités de lisibilité.

Pour résoudre le problème de la lisibilité, il est nécessaire de compléter ces études. Il faut tout d'abord évaluer ces affichages en fonction d'un troisième mode de lecture que nous avons défini : la lecture dichotomique. Ensuite, cette évaluation doit être réalisée en fonction de la précision de l'information recherchée. Van Nes pense que la lisibilité de l'affichage analogique est meilleure lorsque la réponse ne doit pas être précise. Cette hypothèse est en partie vérifiée par les recherches de Zeff et Cey-Bert. La plupart des erreurs commises lors des lectures sur l'affichage analogique avaient un écart de une à cinq minutes par rapport au temps exact. Enfin, la lecture relative devrait être étudiée pour des temps de référence choisis au hasard.

Neubauer et van Nes proposent des affichages composés des systèmes analogique et numérique. Ceux-ci devraient représenter les solutions optimales. Dans ce sens, il est possible

qu'un affichage qui est constitué d'un seul système composé d'éléments appartenant aux deux types d'affichages conventionnels présente de bons résultats. Aussi faudrait-il évaluer ce type d'affichage.

Seul Cey-Bert a évoqué le problème de la perception de l'information. Il n'a pas réalisé d'expérience à ce sujet mais prétend cependant que l'affichage analogique nécessite une durée de perception inférieure à celle de l'affichage numérique parce que le nombre de fixations oculaires est inférieur. Cette affirmation demanderait une vérification expérimentale.

Le problème de la mémorisation de l'heure reste entier. Il en est de même pour le problème de la lecture de l'heure dans la réalité : Neubauer et Cey-Bert ont évalué la lisibilité des affichages pour des situations générales sans tenir compte du fait que l'utilisateur a recours à différents modes de lecture qui apparaissent avec des fréquences différentes.

3. Méthodologie et opérationnalisation

Dans une perspective d'évaluation ergonomique des différents types d'affichages horlogers, huit questions ont été posées à la "réalité". Elles ont trait aux fonctions utilitaires, socio-esthétiques et affectives de l'affichage. Une méthode expérimentale a été développée en vue de répondre aux problèmes posés. Elle est divisée en trois parties :

- l'analyse de la lecture de l'heure dans la réalité qui permet de quantifier les fréquences d'utilisation des différents types de lecture
- l'évaluation de l'efficacité fonctionnelle des différents types d'affichages. Elle a pour objectif d'apprécier la valeur des affichages dans les processus de la perception, de la mémorisation et du traitement global de l'information.
- l'analyse de la préférence pour les différents affichages en fonction des genres d'utilisation. Son but est de définir et de comprendre l'attitude du consommateur.

3.1 Lecture de l'heure dans la réalité

Lors de l'analyse du processus global de la lecture de l'heure (chap. 1.1.3), il a été établi que le sujet peut générer plusieurs types de réponses. Elles sont caractérisées par le mode et la précision de lecture.

Pour déterminer le modèle d'affichage qui a les meilleures qualités de lisibilité, il est nécessaire d'établir les fréquences d'apparition de chaque mode et chaque précision de lecture lors de l'utilisation de la montre dans la réalité. En conséquence, une population d'utilisateurs doit être interrogée sur la nature de l'information recherchée

lors de la lecture de l'heure. Chaque lecture sera ensuite classée selon le mode et la précision qui la caractérisent. Une analyse statistique des différents modes et précisions de lecture utilisés permettra de dresser un profil général de la lecture de l'heure.

Pratiquement, pour chaque lecture effectuée, chacun des sujets interrogés donnera la raison ou l'intention qui l'a poussé à rechercher de l'information horaire.

L'analyse des raisons évoquées doit permettre de déterminer le mode de lecture correspondant (lecture absolue, dichotomique ou relative).

De même, pour chaque lecture, le sujet indiquera la précision de la réponse recherchée. Il relèvera, par exemple, qu'il a réalisé une lecture avec une précision de 5 minutes; l'information concernant les unités des minutes et les secondes lui étant inutile.

Pour étudier la conscience d'une population de son utilisation de la montre et plus généralement de la lecture de l'heure, il n'est pas possible d'utiliser les moyens d'investigation classiques tels que le questionnaire ou l'interview.

En effet, la lecture de l'heure est, pour l'adulte et l'adolescent, une expérience perceptive très fréquente. Le processus opérationnel est parfaitement maîtrisé, si bien que nombre de lectures réalisées ne font pas l'objet d'un fait marquant et ne restent pas en mémoire pour une durée prolongée. Ainsi, en interrogeant les sujets ultérieurement sur des lectures réalisées au cours d'une journée, une certaine quantité d'information serait perdue et le rapport n'aurait plus l'exactitude suffisante.

La nature de la lecture doit être définie au moment même où elle est réalisée. A cet effet, le sujet doit s'auto-observer à chaque lecture et se questionner sur la raison de cette lecture et la précision qui lui convient.

Le protocole est présenté sous la forme d'une fiche d'auto-observation. Il est demandé à chaque sujet de s'auto-

observer pendant une journée normale de travail.

L'inconvénient de cette méthode réside dans le fait qu'elle est basée essentiellement sur les capacités d'auto-observation et d'introspection des individus testés (Paulus, 1965, p. 98).

Afin d'augmenter la qualité de l'introspection, une interview est réalisée avec le sujet avant qu'il ne remplisse la fiche d'auto-observation (interview pré-questionnaire) et une interview est effectuée après que le sujet a rempli la fiche d'auto-observation (interview post-questionnaire). L'interview pré-questionnaire a pour but d'instruire le sujet sur la façon de remplir la fiche d'auto-observation. Le sujet est interrogé sur les lectures qu'il se rappelle avoir effectuées pendant la dernière journée. Il est ensuite instruit de manière à pouvoir donner les raisons et les précisions de ces lectures.

L'interview post-questionnaire a pour principal but une investigation en profondeur afin de clarifier les raisons et les précisions de lecture indiquées par le sujet sur la fiche d'auto-observation.

Les documents permettant l'analyse de la lecture de l'heure sont donc au nombre de trois :

- la fiche d'auto-observation
- l'interview pré-questionnaire
- l'interview post-questionnaire

3.1.1 Fiche d'auto-observation

La fiche d'auto-observation permet de relever le mode et la précision de chaque lecture effectuée par le sujet.

Pour éviter trop de désagréments aux personnes interrogées, la période d'observation a été limitée à 16 heures, soit de 6 hres à 22 hres. L'observation se limite aux journées normales de travail pendant lesquelles les contraintes dues aux horaires à respecter sont plus fortes que pendant

les jours de repos; les lectures sont probablement plus fréquentes.

Le modèle de la fiche d'auto-observation est présenté en annexe, page 201.

La personne interrogée a été invitée à coller un point orange sur sa propre montre afin de ne pas oublier de relever les lectures.

A chaque lecture, une croix devait être inscrite dans la colonne "lecture". En même temps, la raison et la précision de l'information recherchée devaient être indiquées.

Par exemple, nous pourrions lire sur une fiche d'auto-observation, sur la ligne correspondant à 7 h. : savoir combien de temps il me reste avant de partir pour le travail, précision à 1 min.

3.1.2 Interview pré-questionnaire

Avant que le sujet ne remplisse la fiche d'auto-observation, deux questions lui sont posées lors de cette interview.

La première question est la suivante :

Combien de fois lisez-vous l'heure dans un jour normal de travail ?

A travers cette question, l'hypothèse selon laquelle les sujets interrogés ne se rendent pas compte de toutes les lectures qu'ils effectuent au cours d'une journée peut être vérifiée.

La seconde question est :

Au cours de votre dernière journée normale de travail, quand avez-vous procédé à des lectures de l'heure ? Quelles en étaient les raisons et à quelle précision avez-vous réalisé ces lectures ?

Cette question a pour but d'informer le sujet sur les objectifs recherchés, de lui faire comprendre le sens de la fiche d'auto-observation et de l'instruire de façon à ce qu'il puisse la remplir. Elle permet aussi de

déterminer en partie les lectures qui ne sont pas conscientes en comparant le contenu du pré-questionnaire avec celui de la fiche d'auto-observation.

3.1.3 Interview post-questionnaire

Après que le sujet a rempli la fiche d'auto-observation, l'enquêteur lui demande d'expliquer chaque lecture réalisée et de clarifier les raisons évoquées. Les modifications nécessaires sont effectuées.

Lors de cette interview, la question suivante lui est posée :

Dans quelles mesures le test vous a-t-il influencé ?

Cette question permet d'évaluer l'influence provoquée par l'instrument qui est la fiche d'auto-observation. Ce test a surtout une influence sur la fréquence de lecture journalière.

Il peut diminuer la fréquence : la fiche d'auto-observation présente un aspect désagréable (il faut noter à chaque lecture), le sujet peut se refuser à faire des lectures qui lui semblent inutiles.

Il peut augmenter la fréquence. Pour que le sujet n'oublie pas de noter chaque lecture, un point orange est collé sur sa montre. Ce point pourrait avoir comme conséquence de sensibiliser le sujet et d'attirer son regard, lui faisant réaliser des lectures qu'il ne ferait pas dans une situation normale.

3.2 Efficacité fonctionnelle des différents types d'affichages

Dans le chapitre consacré à la problématique, l'efficacité fonctionnelle de l'affichage est définie pour deux composants du processus opérationnel de l'homme :

- la perception de l'information
- la mémorisation de l'information

et pour :

- le traitement global de l'information dans le système sensorimoteur humain

Une méthode expérimentale a été développée pour chacune de ces trois approches.

3.2.1 Perception de l'information

Lorsque le regard explore un panorama, il ne procède pas en balayant l'espace d'un mouvement continu, mais il évolue par saccades, passant ainsi d'une station à une autre.

La saccade est la réponse oculomotrice typique à l'apparition d'un objet dans la périphérie du champ visuel. L'organisme, mis en alerte par un objet, amène celui-ci dans la zone privilégiée de son champ de perception, c'est-à-dire dans la région fovéale des deux yeux (Lévy-Schoen, 1969).

La saccade est suivie d'une fixation lors de laquelle l'information visuelle est recueillie. La prise d'information ne se fait pas pendant les saccades.

En général, les fixations sont privilégiées dans les zones du champ visuel comprenant des points singuliers géométriques, un contraste lumineux ou un mouvement. D'après Lévy-Schoen, en termes d'information, les fixations sont réalisées en fonction de l'information déjà recueillie et de l'information recherchée dans l'ensemble de la scène. La durée des fixations est comprise entre 150 et 400 ms (Lévy-Schoen, 1969, p. 188). Elle dépend essentiellement de l'apprentissage. Cohen (1977), sur la base de 960 fixations relevées chez des conducteurs d'automobiles a déterminé une durée moyenne de 360 ms.

La durée de la saccade est fonction de l'amplitude. Robinson (d'après Lévy-Schoen, 1969, p. 145), lors d'une étude de fixation alternée de points, a établi qu'une saccade de 5° nécessitait 27 ms et une de 40° demandait 110 ms.

Dans une étude de lecture de texte, Massaro (1975, p. 341)

a relevé que les saccades provoquent un mouvement d'environ $1,5^{\circ}$; elles durent entre 10 et 20 ms.

En conséquence, lors de la lecture d'un affichage, l'information ne peut être perçue que si le signal est fixé par le système oculaire. L'analyse de la perception peut être appréhendée à travers l'étude des mouvements oculaires.

Deux approches sont possibles :

- la mesure tachistoscopique
- l'analyse des mouvements oculaires pendant le processus global de la lecture de l'heure.

Le tachistoscope est un instrument qui permet de mesurer la quantité d'information perçue pendant une seule fixation oculaire. Avec ce système, le stimulus (l'affichage) est présenté pendant une durée très courte (quelques dizaines de millisecondes). Cette durée d'exposition permet au sujet de ne réaliser qu'une seule fixation oculaire. Le critère d'évaluation de la qualité perceptive des différents types d'affichage est la quantité d'information perçue par les sujets pour une durée d'exposition de l'affichage bien définie.

La quantité d'information contenue dans un affichage est constante, quel que soit le type d'affichage. Elle est définie par :

$$I = - \log_2 \frac{1}{N}$$

I : quantité d'information. L'unité est le bit

N : nombre d'événements possibles (équiprobables)

Si nous nous limitons aux affichages représentant les heures (de 1 à 12 hres) et les minutes, la quantité d'information est :

$$I = \log_2 12 + \log_2 60 = 9,48 \text{ bits}$$

La perception dépend, à côté des facteurs humains, essentiellement de la forme sous laquelle l'information est

présentée. Ainsi, à contenu informationnel égal, un bon affichage nécessite peu de fixations oculaires pour la perception de son information. Cela signifie qu'une grande quantité ou que la totalité du contenu de l'information est perçue au cours d'une seule fixation.

La quantité d'information est mesurée pour chaque réponse. Si toute l'information est perçue par le sujet, la quantité d'information est de 9,48 bits. Lorsqu'une partie seulement de l'information a été perçue, nous aurons par exemple :

<u>information perçue</u>	<u>nombre d'événements équiprobables</u>	<u>quantité d'information</u>
heures (1 à 12)	N = 12	3,58 bits
dizaines de minutes (0 à 5)	N = 6	2,58 bits
unités des minutes (0 à 9)	N = 10	3,32 bits

Lors de la description des différents types d'affichages (chap. 4.1), la méthode de calcul du contenu informationnel perçu est expliquée. Tous les cas pouvant se présenter sont évoqués.

Pour affiner la mesure tachistoscopique, la quantité d'information perçue est évaluée en fonction de la durée d'exposition de l'affichage.

Il faut cependant être conscient que l'étude tachistoscopique ne prend pas en considération uniquement le processus perceptif, elle englobe d'autres niveaux de traitement de l'information. Par exemple, la décision et la sélection de la réponse (intention du sujet) influencent la réponse donnée par le sujet (Massaro, 1975, p. 341). La qualité perceptive de l'affichage est un paramètre important qui intervient lors de cette mesure, mais il n'est pas isolé.

Il est probable qu'une seule fixation oculaire ne soit pas suffisante pour que l'information complète de l'affichage soit perçue.

L'analyse des mouvements oculaires pendant le processus complet de la lecture de l'heure permet de vérifier expérimentalement cette supposition.

Le nombre de fixations et leur emplacement sur l'affichage sont déterminés pendant le temps d'exposition réel de l'affichage. Ce temps n'est pas imposé comme dans la mesure tachistoscopique. Il est déterminé par le sujet qui a pour consigne de donner une réponse déterminée (p. e.: lecture absolue du temps affiché à la précision de la minute). Le temps d'exposition correspond au temps nécessaire pour l'appréhension de l'information.

Un modèle du comportement des yeux pendant la lecture des différents types d'affichages est ainsi élaboré.

En complément, l'étude des mouvements oculaires peut nous apporter certaines informations relatives aux défauts de conception des affichages. Un exemple concret est exposé dans le chap. 4.3.1.2 consacré à l'expérimentation de cette étude. Il faut toutefois remarquer que l'analyse des mouvements oculaires ne peut donner de réponse définitive sur le processus de lecture de l'heure. La connaissance des lieux géométriques et des durées des différentes fixations ne permet pas de comprendre le processus cognitif. Par conséquent, cette analyse a seulement un caractère exploratoire.

3.2.2 Mémorisation de l'information

La mémorisation de l'information de l'affichage a été appréhendée sous deux aspects : la mémorisation à court terme et la mémorisation à long terme. La rétention de l'information dans les deux sortes de mémoire peut être évaluée avec une seule expérience.

Le test de la restitution libre (free-recall) fait intervenir les deux types de mémoire. Ce test consiste à présenter une liste d'items à un sujet. Celui-ci doit restituer le plus grand nombre d'items, dans un ordre quelconque; c'est

ce qu'on appelle la restitution libre. Lors de la restitution, la position occupée dans la série par l'item a un effet important (Murdock, 1974, p. 200). Les items situés au début et à la fin de la série occupent des places privilégiées : la probabilité qu'ils soient restitués est plus grande que celle de ceux qui se trouvent au milieu de la série. Deux effets principaux sont à la base de ce mécanisme :

- l'effet de primauté (primacy effect) explique la performance supérieure des premiers items.

Le passage de l'information de la mémoire à court terme dans celle à long terme se fait principalement avec un mécanisme de répétition de l'information contenue dans la mémoire à court terme.

Tous les items de la série de test passent par la mémoire à court terme. Les premiers items ont une probabilité plus grande de passer dans la mémoire à long terme car ils subissent des répétitions mentales plus nombreuses.

L'effet de proximité (recency effect) explique la performance supérieure des derniers items.

Lorsque la série de test est terminée, les derniers items sont encore dans la mémoire à court terme, alors que les premiers items et ceux du milieu de la série ont disparu.

La probabilité de restitution des derniers est plus grande.

L'effet de la position dans la série est représenté par la courbe de la fig. 4 (d'après Murdock, 1974, p. 204), dans laquelle nous retrouvons la dimension de la mémoire à court terme fixée à 7 items (chap. 1.1.2).

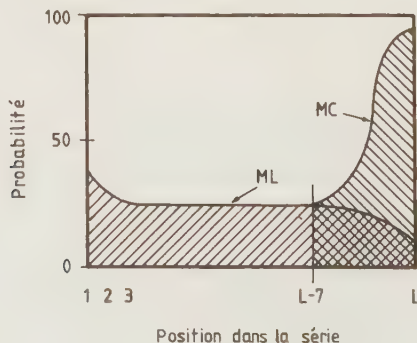


fig. 4

MC : mémoire à court terme

ML : mémoire à long terme

Dans le cadre de notre étude, le test de mémorisation est constitué, pour chaque type d'affichage, d'une série d'items comportant des temps différents. Les sujets doivent restituer les temps qu'ils ont mémorisés.

Un critère très répandu pour l'évaluation de la mémorisation est le nombre d'items qui sont correctement restitués. Dans ce cas, le meilleur affichage serait celui dont les sujets ont mémorisé le plus grand nombre de temps affichés.

Ce critère dichotomique ne peut pas nous satisfaire entièrement car il ne prend pas en considération les cas où une partie seulement de l'information a été perçue.

La plage dans laquelle l'information est considérée comme mémorisée correctement peut être élargie. Par exemple, une plage de ± 5 minutes dans le cas d'un affichage analogique peut être définie, alors qu'un affichage numérique est considéré comme mémorisé correctement si les chiffres qui concernent les heures et les dizaines de minutes sont retenus sans erreur, le chiffre des unités de minutes pouvant être faux.

Avec ce dernier critère apparaît la difficulté de comparer des objets de nature différente. Est-ce que la mémorisation d'un affichage analogique à 5 minutes près équivaut à la mémorisation des chiffres des heures et des dizaines de minutes d'un affichage numérique ?

Pour cette raison, deux critères qui ne sont pas dichotomiques complètent l'évaluation de la mémorisation :

- le critère de la quantité d'information
- le critère de la précision de la réponse

Le critère de la quantité d'information a été défini comme mesure de la qualité perceptive de l'affichage. Il peut à nouveau être utilisé pour évaluer la mémorisation. Dans ce cas, il s'agit de comptabiliser la quantité d'information totale qui a été mémorisée par les sujets.

Ce critère présente un désavantage : il ne permet pas de préciser la nature de l'information qui n'a pas été mémo-

risée. Par exemple, dans le cas de l'affichage numérique, il ne serait pas possible de savoir si l'information perdue provient d'une mauvaise rétention des chiffres des heures, du chiffre des dizaines de minutes ou du chiffre des minutes.

Le critère de la précision de la réponse est un complément au critère de la quantité d'information. Il permet de préciser l'information qui n'a pas été mémorisée.

La différence entre la réponse donnée par le sujet et la réponse exacte est calculée; elle est mesurée en heures et minutes. Les différences relevées sont ensuite réparties dans les 8 catégories suivantes :

réponse exacte, différence de une minute, de 5 minutes, de 10 minutes, de 15 minutes, de 30 minutes, d'une heure, de plus d'une heure.

3.2.3 Processus de traitement de l'information

Un premier critère d'évaluation de la lisibilité, considéré pour le processus global du traitement de l'information, est la mesure du canal de transmission de l'information de l'être humain en fonction du type d'affichage.

La mesure de la capacité du canal humain est réalisée à travers la mesure du temps de réaction qui est le temps compris entre le début de l'insertion de l'information dans le canal et la réponse (Broadbent, d'après Haber, 1968, p. 56).

Dans le cas réel de la lecture de l'heure, la réponse n'est pas toujours traduite par les organes moteurs de l'homme. La prise de conscience de l'information peut définir un comportement plus général. Par exemple, si le sujet sait qu'il lui reste très peu de temps avant l'événement attendu et qu'il se trouve dans un état de grande activité, il aura probablement un comportement caractérisé par un empressement. Pour cette raison, l'évaluation de la lisibilité est réalisée pour deux types de temps de réaction :

- Le temps d'exposition individuelle qui est le temps nécessaire à une personne pour prendre conscience de l'information; il correspond à la durée pendant laquelle l'utilisateur a le regard posé sur l'affichage. La réponse est déterminée par le fait que les yeux du sujet n'explorent plus l'affichage.

Ce critère a été utilisé par Neubauer (1972) pour l'évaluation de la lisibilité.

L'analyse des mouvements oculaires est réalisée pendant ce temps d'exposition.

- Le temps de réaction verbale qui est le temps compris entre l'apparition de l'affichage et la reproduction verbale de l'information demandée.

Ce critère correspond au fait réel de lire et de transmettre l'information à une autre personne. Zeff (1965) a défini un critère semblable basé sur un temps de réaction où la réponse est écrite.

Le temps de réaction est un critère d'évaluation de la lisibilité; elle est d'autant meilleure que le temps de réaction est court.

Un second critère est l'erreur de lecture mesurée entre l'information reproduite après lecture de l'affichage et l'information exacte demandée.

L'évaluation de la lisibilité est réalisée en laboratoire. Dans ce but, il est nécessaire d'opérationnaliser ces critères qui sont considérés comme les variables dépendantes du problème.

- Le temps d'exposition individuelle

Le stimulus représentant un affichage apparaît dès que le sujet a appuyé sur un bouton. Dès qu'il le relâche, le stimulus disparaît.

Le sujet est instruit de telle façon que cette durée

d'exposition soit minimale. Il ne devrait donc pas continuer d'appuyer sur le bouton si l'appréhension de l'information est réalisée.

La durée pendant laquelle le sujet appuie sur le bouton est chronométrée; c'est le temps d'exposition individuelle.

- Le temps de réaction verbale

Le temps de réaction verbale est chronométré avec un second appareil qui est enclenché simultanément au premier. En revanche, le compteur est arrêté lorsque le sujet commence à restituer l'information demandée, ce qui signifie que la lecture est terminée.

Le déclenchement de ce compteur est réalisé par l'intermédiaire d'un microphone.

En principe, le temps de réaction verbale devrait être plus long que le temps d'exposition individuelle.

- L'erreur de lecture

Lors de la restitution verbale de l'information par le sujet, les éventuelles erreurs sont comptabilisées. La définition d'une erreur est donnée dans le chap. 4.3.3.1.

La quatrième question posée à la "réalité" (p. 30) soulève le problème de l'évaluation de la lisibilité en fonction de deux variables indépendantes provenant de la lecture de l'heure dans la réalité :

- le mode de lecture
- la précision de lecture

Pour que la simulation en laboratoire puisse être systématisée, chaque variable doit être explicitée et, dans la mesure du possible, réduite. Par réduction d'une variable, on entend la réduction du domaine dans lequel elle est définie. Dans ce cas, la variable ne peut plus prendre toutes les valeurs définies initialement.

Mode de lecture

Trois modes différents de lecture ont été définis pour notre évaluation expérimentale.

- 1) La lecture absolue qui est la lecture du temps directement affiché sur le cadran.

La consigne donnée au sujet est la restitution verbale de l'heure affichée.

Dans la majorité des lectures réalisées dans la réalité, les sujets peuvent situer la période de la journée dans laquelle ils se trouvent. Le nombre de possibilités des différents temps pouvant être affichés est restreint.

Ainsi, la quantité d'information contenue dans l'affichage n'est pas maximale.

Pour rendre l'expérience plus réaliste, l'expérimentateur indique au sujet la période de trois heures dans laquelle est compris le temps qui va apparaître. Les 12 heures ont été divisées en quatre périodes.

Par exemple, l'expérimentateur indiquera que le prochain temps est situé entre 9 et 12 heures.

- 2) La lecture relative qui est la lecture du temps qui reste par rapport à un événement.

Dans ce cas, un temps représentant l'événement (référence) est donné verbalement par l'opérateur au sujet. La consigne est de restituer verbalement la différence entre le temps de référence et le temps affiché.

- 3) La lecture dichotomique est la lecture qui amène une réponse du type oui/non liée au fait que l'événement attendu n'est pas encore atteint ou est dépassé.

Une heure de référence qui correspond à l'événement attendu est donnée verbalement par l'opérateur. Après avoir observé l'affichage, le sujet doit dire si l'heure affichée se situe avant ou après l'heure de référence.

Précision de lecture

Pour l'étude de la lecture de l'heure dans la réalité (chap. 3.1), 7 classes de précision différentes ont été établies. Afin de réduire le domaine d'investigation, nous nous sommes limités aux deux classes que l'on rencontre le plus souvent dans la réalité : la précision à la minute et la précision à 5 minutes. Le choix de ces deux catégories a été réalisé sur la base des résultats de l'étude de la lecture de l'heure dans la réalité. Ces résultats sont exposés au chap. 4.2.

Pour les deux premiers modes de lecture, l'opérationnalisation est la suivante :

1) Précision à la minute

- a) lecture absolue : le sujet doit indiquer exactement le temps affiché
- b) lecture relative : le sujet doit restituer la différence exacte entre le référentiel donné par l'expérimentateur et le temps affiché.

Cette différence est, dans les expériences réalisées, au maximum de 15 min. Cette limitation provient du fait que, dans la réalité, lorsqu'une personne désire connaître à la minute près le temps qui lui reste avant que l'événement attendu ne se produise, ce laps de temps n'est, en général, pas supérieur à 15 min.

Le temps de référence qui correspond à l'événement à venir est donné par l'expérimentateur tantôt sous la forme parlée (neuf heures moins dix) tantôt sous la forme rencontrée sur les horaires (huit heures cinquante). Cette précaution devrait éviter un effet secondaire qui se répercuterait sur les affichages de type analogique ou sur ceux de type numérique..

2) Précision à 5 minutes

- a) lecture absolue : le sujet doit restituer le temps affiché sous la forme d'un multiple de 5 minutes. Seuls les

deux multiples de 5 minutes entre lesquels est compris le temps affiché sont considérés comme justes.

Exemple : le temps affiché est 8h.17. Seules les deux réponses 8h.15 et 8h.20 sont justes.

Le sujet est donc obligé de procéder à un choix entre deux multiples de 5 min.

- b) lecture relative : le sujet doit donner la différence comprise entre le référentiel et le temps affiché sous la forme d'un multiple de 5 minutes. A nouveau, seuls les deux multiples de 5 minutes qui tiennent lieu de bornes à la réponse exacte sont acceptés.

Le laps de temps compris entre le temps affiché et le temps de référence est cette fois au maximum de 60 minutes et au minimum de 15 minutes. Une différence plus grande avec la même précision ne serait plus réaliste. Le référentiel est donné sous la forme d'un multiple de 5 minutes.

En ce qui concerne la lecture dichotomique, les temps de référence sont limités à quatre temps qui correspondent aux points marquants de la journée : 9, 12, 3 et 6 heures. L'opérateur énonce un temps de référence; après avoir observé l'affichage, le sujet indique si le temps affiché est situé avant ou après le référentiel.

Dans ce cas, la précision de lecture n'intervient pas dans la réponse.

Les fréquences d'apparition des différents modes et précisions de lecture dans la réalité et les temps moyens de réaction de chaque type de lecture étant déterminés, il est possible de calculer un temps de réaction moyen pour chaque type d'affichage. Il est défini par :

$$\bar{t} = \sum_i f_i \hat{t}_i$$

$\bar{t}$: temps de réaction moyen

f_i : fréquence d'apparition du ième type de lecture qui est défini par un mode et une précision

$\hat{t}_i$: temps moyen de réaction du ième type de lecture

Comme nous ne déterminons pas les temps de réaction pour chaque précision de lecture (seules les précisions à la minute et à 5 minutes sont considérées), nous obtenons un temps moyen partiel :

$$\bar{t} = \frac{1}{f} (f_{a1}\hat{t}_{a1} + f_{a5}\hat{t}_{a5} + f_{r1}\hat{t}_{r1} + f_{r5}\hat{t}_{r5} + f_d\hat{t}_d)$$

a : lecture absolue

r : lecture relative $f = f_{a1} + f_{a5} + f_{r1} + f_{r5} + f_d$

d : lecture dichotomique

1 : précision à la minute

5 : précision à 5 minutes

Le temps moyen de chaque type d'affichage est calculé pour les deux temps de réaction définis, c'est-à-dire le temps d'exposition individuelle et le temps de réaction verbale.

De la même manière, il est possible de calculer l'erreur relative moyenne partielle pour chaque type d'affichage :

$$\bar{e} = \frac{1}{f} (f_{a1}\hat{e}_{a1} + f_{a5}\hat{e}_{a5} + f_{r1}\hat{e}_{r1} + f_{r5}\hat{e}_{r5} + f_d\hat{e}_d)$$

$\bar{e}$: erreur relative moyenne (en pourcent)

$\hat{e}_i$: erreur moyenne relative pour le ième type de lecture (en pourcent)

Le temps de réaction moyen et l'erreur relative moyenne permettent de répondre à la 5ème question de la problématique qui a trait à l'évaluation des différents types d'affichages en fonction de l'utilisation réelle. Il faut cependant relever que ces valeurs moyennes sont quelque peu arbitraires. En effet, chaque utilisateur effectue des lectures qui diffèrent plus ou moins sensiblement de ce comportement moyen.

La 6ème question posée à la réalité soulève le problème de l'évaluation de la longueur de la phase d'apprentissage. Cela revient à déterminer le paramètre de la courbe d'apprentissage qui exprime la rapidité du processus d'apprentissage.

Selon Welford (1968, p. 313), de Jong propose une fonction d'apprentissage générale :

$$T_n = T_\infty + \frac{T_1 - T_\infty}{n^k}$$

- T_{∞} : temps minimum nécessaire à la réalisation de l'opération. Ce temps correspond à l'assimilation complète de la tâche
- T_1 : temps nécessaire à la réalisation de l'opération lors du premier essai
- T_n : temps nécessaire à la réalisation de l'opération lors du $n^{\text{ième}}$ essai
- n : $n^{\text{ième}}$ essai
- k : paramètre qui exprime la rapidité dans le processus d'apprentissage

Cette courbe est représentée par la fig. 5

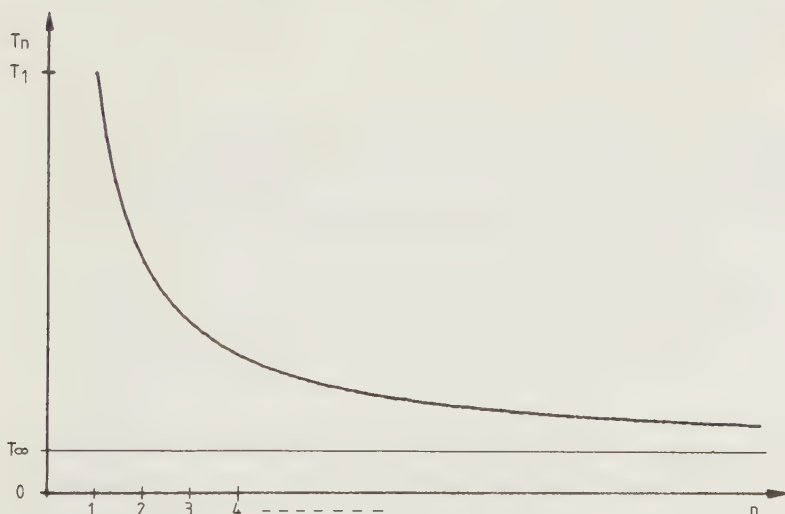


fig. 5

Comme nous le verrons plus loin, l'évaluation des temps de lecture de chaque type de lecture est réalisée lors d'une série de test composée de 10 affichages qui sont présentés successivement au sujet. Cette série de test est précédée par une phase d'apprentissage qui, dans le cas général, comprend m essais.

Les paramètres de la courbe exponentielle d'apprentissage devraient pouvoir être déterminés avec $m + 10$ points. Chaque point est calculé avec la moyenne des temps de lecture de l'ensemble des sujets.

La fig. 6 représente la courbe d'apprentissage déterminée avec cette méthode.

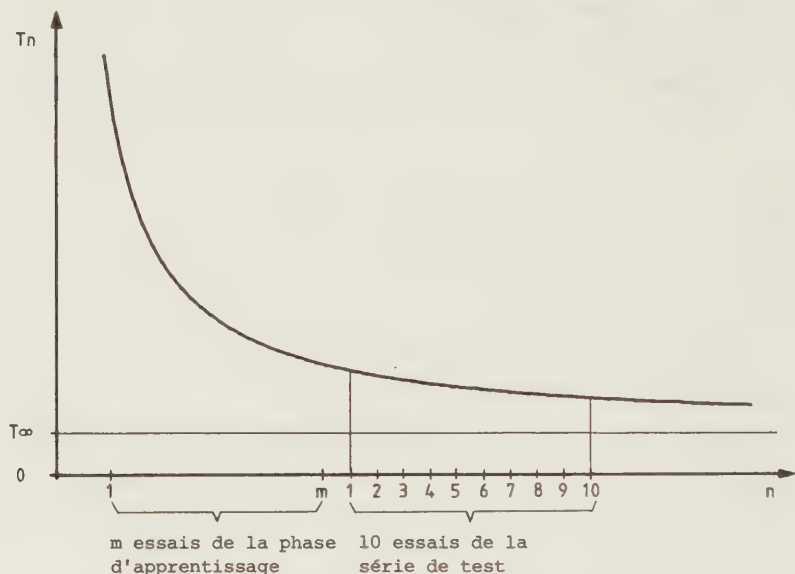


fig. 6

Pour une comparaison idéale entre les nouveaux types d'affichages et les deux affichages conventionnels (analogique et numérique), il faudrait que l'assimilation des nouveaux types soit semblable à celle des anciens.

Dans ce cas, nous pourrions nous attendre à ce que les sujets doivent se présenter à plusieurs séances d'entraînement.

Afin d'éviter cet inconvénient et par souci d'optimisation de l'opérationnalisation, nous avons décidé de procéder à une phase d'apprentissage qui a lieu pendant la même séance que la série de test. Comme cette phase est courte, il n'est pas encore possible de prétendre que les nouveaux affichages

ont été complètement assimilés, c'est-à-dire que les temps de lecture ont atteint la valeur T_{∞} .

A des fins de comparaison, il est donc nécessaire de déterminer la pente de l'exponentielle sur le domaine de la série de test.

3.3 Analyse de la préférence pour les différents affichages

L'analyse de la préférence pour les différents affichages en fonction des genres d'utilisation nous amène à définir les objectifs suivants :

- Préciser les différents genres d'utilisation de la montre.
Le concept d'utilisation est pris dans un sens large : il englobe les aspects socio-esthétique, affectif et fonctionnel.
Définir et hiérarchiser les valeurs attribuées aux différents genres d'utilisation de la montre.
Dessiner un profil caractéristique de l'utilisation de la montre.
- Etablir les associations existant entre les différents types d'affichages et les différents genres d'utilisation et déterminer les valeurs attribuées à ces associations.

Cette étude devrait aussi nous permettre non seulement de confirmer l'attitude négative des personnes envers la montre numérique (Cey-Bert, 1970), mais encore de déterminer les raisons de cette résistance.

La recherche a été effectuée par une enquête d'opinion qui a la forme d'un questionnaire. La population interrogée est composée uniquement d'adultes et d'adolescents.

Pour des raisons évidentes, cette enquête est limitée aux deux affichages existant sur le marché : l'affichage analogique et l'affichage numérique.

Cependant, la technologie utilisée est prise en considération; si bien que, pour l'affichage analogique, nous analysons la montre mécanique et la montre électronique.

Un objectif secondaire a été introduit dans cette recherche :

- Etablir les éventuelles correspondances entre une typologie des préférences et une typologie de groupes homogènes de personnes.

Deux techniques différentes sont utilisées dans cette enquête :

- Les questions à réponses fermées

Les réponses sont répertoriées, en général, dans une échelle dichotomique du type oui/non, dans une échelle d'estimation (rating scale) ou dans une liste comprenant des éléments divers (inventories).

Cette technique présente l'avantage de quantifier, de manière objective, les différentes catégories de jugements individuels. L'inconvénient réside dans le fait que les sujets peuvent "maquiller" les réponses ou donner un grand nombre de réponses qui se situent au milieu de l'échelle (dans le cas des échelles d'estimation); elles sont incertaines.

- Les techniques projectives permettent, en partie, d'éviter cet inconvénient. La personne interrogée est atteinte à un niveau plus profond. Les barrières de la conscience, de l'irrationalité, de l'inadmissibilité, de l'auto-incrimination et de la courtoisie peuvent être pénétrées (Oppenheim, 1966).

La technique projective que nous avons utilisée est la méthode des phrases à compléter. Elle permet d'aborder les attitudes, les valeurs, les sentiments et les croyances de manière générale. Cette méthode est surtout basée sur la spontanéité des sujets.

Le dépouillement des phrases complétées est plus complexe et moins objectif que le dépouillement des réponses fermées. En général, il est réalisé par une analyse de contenu; les réponses sont classées dans diverses catégories avec les jugements de valeur correspondants. Une étude

statistique permet ensuite d'évaluer l'importance de chaque catégorie.

Le questionnaire est composé de 22 questions (voir chap. 3.3.1) qui se répartissent dans trois groupes.

Le premier a trait aux caractéristiques de la population qui sont liées principalement au nombre de montres que possède et porte l'utilisateur, à l'âge auquel il a reçu sa première montre et aux occasions pendant lesquelles il se sépare de sa montre (questions 1 à 6)¹⁾.

Les deux groupes suivants sont liés aux deux premiers objectifs.

Les différents genres d'utilisation de la montre et les valeurs qui leur sont attribuées (questions 7 à 12) sont recherchés à travers les aspects véhiculés par la montre. La première question (Q 7) qui est du type "phrase à compléter" englobe toutes les utilisations; la deuxième (Q 8) aborde ce même problème en posant la condition selon laquelle l'objet (la montre) est absent.

La question 9 a pour objectif de préciser l'utilisation socio-esthétique en déterminant les points d'accrochage visuels générés par la montre. La question 10 aborde le problème fonctionnel de l'affichage de l'information de la seconde qui est une fonction offerte par un grand nombre de montres. Mais, à priori, il semble que cette fonction soit rarement utilisée.

Dans le domaine technique, cette fonction a pour conséquence d'augmenter la consommation en énergie des montres à affichage numérique. Cette augmentation provient de la production d'énergie pour l'activation des segments utilisés pour le codage de la seconde (affichages à diodes électroluminescentes, à cristaux liquides et électrochimiques) et de la production d'énergie pour les circuits logiques ou pour les programmes nécessaires au calcul de l'information de la seconde.

1) : La formulation des questions est présentée dans le chapitre suivant (chap. 3.3.1).

Sur le plan affectif, le temps est source d'angoisse pour l'homme (Cey-Bert, 1970, p. 12). L'angoisse est liée à la perception du temps qui s'écoule ou va s'écouler et à l'incertitude de ce qui va arriver.

Ainsi, pour mieux dégager un profil général de la montre, quelques aspects contraignants de l'heure sont analysés à travers l'influence provoquée par la lecture de l'heure sur l'activité en général (Q 11) et l'influence d'un contexte psychologique bien particulier (l'ennui) sur la lecture de l'heure (Q 12).

L'étude des associations existant entre le type d'affichage et les différents genres d'utilisation est appréhendée à travers deux indicateurs :

- L'attitude de l'utilisateur envers les deux types d'affichages.
- Les motivations qui ont poussé ou qui pousseraient le consommateur à choisir un type d'affichage.

La structuration de ces questions est réalisée en fonction d'une typologie du porteur.

Les questions 13 à 18 ont pour objet l'analyse du premier indicateur.

Les questions 13 et 14 s'adressent à l'utilisateur en général; la question 15 à la personne qui possède les deux types de montres, la question 16 au porteur de montre numérique et la question 17 au porteur de montre analogique. La question 18 a pour objet l'étude de la valeur esthétique attribuée aux deux types de montres.

Les motivations d'achat de chaque type de montre sont étudiées avec les questions 19 à 21.

La question 19 s'adresse à la catégorie de personnes portant une montre analogique, alors que les questions 20 et 21 à celle des personnes qui portent une montre numérique.

Une dernière question (Q 22), semblable à la question 7 a

pour objet l'esquisse d'un profil caractérisant la montre électronique en général. Le type de l'affichage n'est pas mentionné. Elle devrait permettre de définir les aspects véhiculés par la montre électronique et les valeurs qui lui sont attribuées.

Le troisième objectif de cette enquête qui consiste à établir une typologie de groupes homogènes de personnes est réalisé lors du dépouillement de l'enquête par l'intermédiaire de méthodes statistiques.

Ces groupes sont caractérisés par l'âge, le sexe, la profession et le domicile.

Les 22 questions exposées font partie d'un questionnaire plus étendu qui comporte une approche économique des différents types de montres. Comme cet aspect n'a pas de relation avec l'étude qui nous intéresse, il ne sera pas évoqué.

Avec ce questionnaire, nous ne prétendons pas tracer un modèle définitif des préférences pour les différents types d'affichages. D'une part, nous n'avions pas les moyens de procéder à une vaste enquête; d'autre part, un questionnaire ne peut prendre qu'une image ponctuelle d'une situation. Dans le domaine horloger, l'évolution est très rapide; les paramètres qui déterminent l'attitude du consommateur sont en constante évolution. Nous constatons que de plus en plus fréquemment de nouvelles fonctions sont introduites dans la montre (calculatrice, cardiofréquencemètre, agenda, etc.).

L'utilisation de la montre est aussi influencée par des facteurs exogènes qui ne sont pas stables. La fonction d'indiquer le temps est, de plus en plus, offerte par des appareils qui, initialement, ne sont pas prévus à cet effet (radios, téléviseurs, cuisinières électriques, etc.).

En conséquence, les préférences pour les différents types d'affichage sont amenées à subir une évolution importante.

3.3.1 Questionnaire

- Q 1 Combien de montres individuelles possédez-vous ?
- Q 2 Combien de montres individuelles en état de marche possédez-vous ?
- Q 3 Combien de montres individuelles utilisez-vous effectivement ?
- Q 4 Portez-vous une montre ?
Si vous avez répondu jamais ou occasionnellement, pourquoi ?
- Q 5 A quel âge avez-vous reçu votre première montre ?
- Q 6 A certaines occasions (vacances, week-end, nuit, bains, etc.), vous séparez-vous de votre montre ?
Si oui, à quelles occasions ?
- Q 7 La montre c'est ...
- Q 8 Êtes-vous incommodé si vous avez oublié votre montre ?
En quoi êtes-vous incommodé ?
- Q 9 Remarquez-vous la montre que portent vos amis ou les personnes que vous rencontrez ?
Pourriez-vous donner les caractéristiques d'une montre que vous avez ainsi vue ?
- Q 10 Si la montre n'affiche pas la seconde, est-ce que cela vous ennuie ?
Si oui, pourquoi ?
- Q 11 Quand vous lisez l'heure, y a-t-il des moments où cela vous fait accélérer une activité (aller plus vite dans votre travail, par exemple) ?
- Q 12 Si le temps vous semble long, regardez-vous l'heure plus souvent ?
Pouvez-vous citer un cas ?
- Q 13 Quel est le principal avantage d'une montre à aiguilles ?
- Q 14 Quel est le principal avantage d'une montre électronique numérique ?

- Q 15 Portez-vous actuellement une montre à aiguilles ou une montre numérique, ou les deux selon les circonstances ?
- Si vous portez les deux, à quelles occasions portez-vous plutôt une montre numérique ?
- Si vous portez les deux, quelle est celle que vous portez le plus souvent ?
- Q 16 Si vous portez (toujours ou parfois) une montre numérique, trouvez-vous qu'elle est plus utile que la montre à aiguilles ?
- Si oui, pourquoi ?
- Si non, pourquoi ?
- Q 17 Si vous n'avez pas de montre numérique (mais seulement une à aiguilles), en aimeriez-vous une ?
- Pourquoi ?
- Q 18 Les montres numériques sont-elles plus belles que les montres à aiguilles ?
- Q 19 Pour ceux qui ont une montre à aiguilles seulement : si vous achetiez aujourd'hui une nouvelle montre, quel type de montre serait-ce ?
- Pourquoi feriez-vous ce choix ?
- Q 20 Si vous avez une montre numérique, qu'est-ce qui vous a décidé à acheter une telle montre ?
- Q 21 Pour ceux qui ont une montre numérique seulement : si vous achetiez aujourd'hui une nouvelle montre, quel type de montre serait-ce ?
- Pourquoi feriez-vous ce choix ?
- Q 22 La montre électronique c'est ...

4. Situations expérimentales et résultats

Dans le chapitre précédent (chap. 3), une méthode expérimentale a été développée pour l'évaluation des affichages horlogers. Elle comprend trois domaines :

- la lecture de l'heure dans la réalité
- l'efficacité fonctionnelle des différents types d'affichages
- l'étude de la préférence pour les différents affichages

Ce chapitre est consacré aux situations expérimentales et aux résultats.

Le tableau synoptique (ts.1) représente les différents domaines d'investigation, les expériences correspondantes et les critères ou indicateurs utilisés.

Le début de ce chapitre comporte une présentation des différents types d'affichages évalués et la méthode de quantification de l'information perçue par le sujet. Elle est utilisée comme critère pour l'évaluation de la perception et de la mémorisation des affichages.

4.1 Description des affichages évalués

Cinq types d'affichages ont été choisis pour subir les tests de perception, de mémorisation et du processus de traitement de l'information. Deux sont connus :

- affichage analogique
- affichage numérique

Trois sont nouveaux :

- affichage pseudo-analogique
- affichage pseudo-numérique
- affichage numérique avec signe moins

Domaine d'investigation	Expérience	Critère ou indicateur	Chapitre relatif à l'opérationnalisation	Chapitre relatif aux résultats
<u>lecture de l'heure dans la réalité</u>	fiche d'auto-observation	fréquence d'apparition des différents modes et précisions de lecture	3.1	4.2
<u>efficacité fonctionnelle</u>	1) mesure tachistoscopique	quantité d'information perçue	3.2.1	4.3.1
perception de l'information de l'affichage	2) analyse des mouvements oculaires	1) nombre de fixations oculaires		
mémorisation de l'information de l'affichage	test de restitution libre	2) lieux géométriques des fixations	3.2.2	4.3.2
		1) quantité d'information mémorisée		
		2) nombre de réponses exactes	3.2.3	4.3.3.1
		3) précision de la réponse		
processus de traitement de l'information de l'affichage	mesure de temps de réaction en fonction de 2 variables que sont le mode et la précision de lecture	1) temps d'exposition individuelle	3.2.3	4.3.3.2
	mesuré à partir des expériences de temps de réaction.	2) temps de réaction verbale		
apprentissage	conjonction des résultats obtenus avec la fiche d'auto-observation et les temps de réaction	3) erreur de lecture	3.2.3	4.3.3.3
évaluation globale des affichages en fonction de l'utilisation réelle		détermination de la courbe d'apprentissage		
		1) temps d'exposition moyen partiel	3.2.3	4.3.3.3
		2) temps de réaction verbale moyen partiel		
		3) erreur de lecture relative moyenne partielle	3.3	4.4
<u>préférence pour les différents affichages</u>	enquête d'opinion	1) aspects véhiculés par la montre		
		2) attitude de l'utilisateur	3.3	4.4
		3) motivations du consommateur		

Typologiquement, ces trois affichages nouveaux se situent entre les affichages analogique et numérique car ils sont formés avec des éléments appartenant à ces deux modèles.

Les raisons du choix d'affichages du type hybride sont les suivantes :

- D'après leurs résultats, Neubauer (1972) et van Nes (1971) estiment que la meilleure solution réside dans un affichage composé des systèmes analogique et numérique. Afin de ne pas produire deux affichages sur une montre, nous avons estimé qu'une solution consistait à concevoir des affichages uniques formés d'éléments hybrides.
- Ils sont conçus de façon à être réalisés avec une technologie unique ("solid state").
- Pour qu'un nouveau type d'affichage ait des chances de s'imposer sur le marché, il ne doit pas trop différer des modèles connus. Sinon, la résistance au changement serait trop importante.

Pour l'expérimentation, il est nécessaire de générer de nombreux temps différents sur le même type d'affichage. A cet effet, un système comprenant un micro-ordinateur et un moniteur de télévision couleur a été développé. Il permet de composer facilement et rapidement un affichage sur lequel tous les temps désirés peuvent être représentés. Ce système est décrit dans l'annexe page 203.

Des diapositives ont été prises sur la base des images présentes sur l'écran du téléviseur. Elles constituent les stimuli utilisés pour les tests.

A l'exception des quatre autres types d'affichages, l'affichage analogique n'a pas été composé avec ce système, mais avec une maquette. En effet, l'image générée sur le moniteur de télévision a une résolution limitée (128 x 128 points). Les lignes obliques ne sont pas continues, mais ont une légère forme en dent de scie. Ainsi, la représentation des aiguilles n'est pas optimale.

Affichage analogique

Remarque : Les affichages évalués n'indiquent que l'information relative aux heures et aux minutes. L'information des heures est comprise entre 1 et 12 heures.

Comme la majorité des affichages à aiguilles commercialisés actuellement, l'affichage qui est évalué ne comporte aucun chiffre imprimé sur le cadran, mais uniquement des repères.

Les aiguilles et les repères sont noirs; le fond est gris très clair.

La figure 7 représente cet affichage :



fig. 7

Affichage numérique

Les chiffres qui composent cet affichage sont composés de 7 segments; ils ont été élaborés selon les conseils donnés par Morgan (1963, p. 102).

La largeur du chiffre (à l'exception du 1) est égale aux $\frac{3}{5}$ de la hauteur.

En revanche, pour satisfaire à l'esthétique des chiffres 7 segments, l'épaisseur des segments est égale au $\frac{1}{14}$ de la hauteur et non au $\frac{1}{8}$ comme préconisé par Morgan. Ils correspondent cependant aux chiffres composant les affichages couramment utilisés dans les équipements à usage militaire et commercial (Plath, 1970, p. 494).

Technologiquement, il est possible de réaliser des affichages numériques avec l'utilisation de diverses couleurs. Pour cette raison, l'affichage numérique que nous nous proposons de tester ne correspond pas au modèle le plus répandu : chiffres gris foncé sur fond gris clair. Nous avons utilisé des couleurs; elles offrent certainement de meilleures qualités perceptives et apportent un degré de liberté supplémentaire pour la conception de l'affichage.

L'utilisation de deux couleurs, l'une pour les chiffres des heures, l'autre pour les chiffres des minutes, crée une nouvelle possibilité de différenciation de ces deux informations. Jusqu'à présent, ces deux paires de chiffres étaient séparées par un ou deux points, par un espace, ou étaient disposées sur deux niveaux.

Une étude des qualités perceptives de mots en fonction de la couleur utilisée (McCormick, 1957, p. 122) a mis en évidence une hiérarchisation de ces qualités. Il est apparu que, sur un fond blanc, les mots composés avec du bleu, du vert, du noir et du rouge sont, dans l'ordre, les mieux perçus. En conséquence, les chiffres des heures de notre affichage sont verts, les chiffres des minutes bleus, le fond est gris très clair.

La figure 8 représente cet affichage :

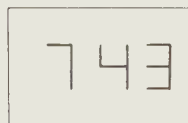


fig. 8

Affichage pseudo-analogique

L'affichage pseudo-analogique est proche de l'affichage analogique et présente donc des caractéristiques propres à ce genre d'affichage. Cet affichage a été décrit en détail par Pellandini (1976); nous nous bornons ici à expliquer son fonctionnement.

Deux couronnes concentriques, composées chacune de 12 segments, forment les deux parties principales de cet affichage. La couronne intérieure représente les heures après qu'elles ont été arrondies au nombre entier. La couronne extérieure représente les multiples de 5 minutes, après que les minutes ont été arrondies à ce multiple.

Exemple : représentation de 10h15 (fig. 9)

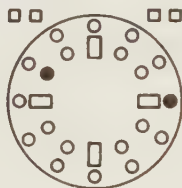


fig. 9

Une information complémentaire, définie par quatre segments situés au-dessus des couronnes, indique la minute en précisant combien de minutes il faut retrancher ou ajouter au multiple de 5 minutes (-2, -1, +1, +2).

Deux exemples sont représentés par les figures 10 et 11.

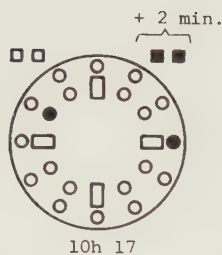


fig. 10

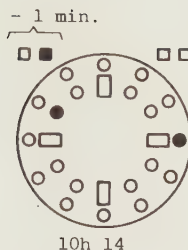


fig. 11

Afin que les trois différentes sources d'information soient bien distinctes, trois couleurs différentes ont été utilisées : les heures sont représentées en vert, les multiples de 5 minutes en bleu et les minutes en rouge; le fond est gris très clair.

La lecture de ce type d'affichage est similaire à celle de l'affichage analogique. Elle se fait en détectant la position relative du segment activé. Pour rendre cette détection plus aisée et pour faciliter les lectures relatives, le contour des segments non activés reste apparent; il est gris foncé.

Affichage pseudo-numérique

Typologiquement, ce type d'affichage se situe entre l'affichage pseudo-analogique et l'affichage numérique.

L'information concernant les heures est représentée par un ou deux chiffres situés au centre de l'affichage.

L'originalité de cet affichage provient de la présentation des minutes. Elles apparaissent sous la forme d'un ou de deux chiffres qui ont la particularité de graviter sur une couronne, leur positionnement étant identique à celui de l'aiguille des minutes d'un affichage analogique.

Les figures 12 et 13 montrent deux exemples :



4.16
fig. 12



10.34
fig. 13

Par souci de réduction de la complexité du matériel, les chiffres des minutes ne peuvent prendre que 12 positions différentes, qui correspondent aux 12 multiples de 5 minutes possibles. Cette méthode est identique à celle utilisée dans le cas de l'affichage pseudo-analogique.

Par exemple : 13, 14, 15, 16 et 17 min. seront affichées sur le même emplacement.

L'avantage de cet affichage est dû à sa redondance : pour lire l'information des minutes à 5 minutes près, la détection de la position relative des chiffres des minutes est suffisante.

Les proportions des chiffres sont identiques à celles adoptées pour l'affichage numérique.

Les chiffres des heures ont la même grandeur que les chiffres composant l'affichage numérique; les chiffres des minutes sont la moitié de la grandeur des chiffres des heures. Les heures apparaissent en vert, les minutes en bleu, le fond est gris très clair.

Affichage numérique avec signe moins

Cet affichage est très proche de l'affichage numérique :

il est composé de deux paires de chiffres, l'une pour les heures et l'autre pour les minutes.

La différence provient de l'affichage des minutes : de 0 à 30 minutes, le système est le même que celui de l'affichage numérique. En revanche, de 31 à 59 minutes, l'information est indiquée sous la forme que l'on rencontre généralement dans le langage parlé, c'est-à-dire avec le signe moins.

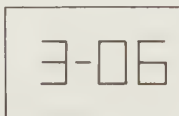
Exemple : 2h41 devient 3h-19.

Avec ce genre d'affichage, l'utilisateur devrait mieux ressentir le temps qu'il est qu'avec l'affichage numérique. Par exemple, s'il est 7.50, l'affichage numérique avec signe moins indique 8-10.

Le fait que nous sommes proches de 8 heures est plus évident avec ce système.

La composition de la géométrie et de la couleur est identique à celle de l'affichage numérique, le signe moins, s'il est actif, est représenté en rouge.

La figure 14 représente ce type d'affichage :



2.54

fig. 14

Typologie des affichages choisis

L'affichage analogique est caractérisé par une méthode de

représentation de l'heure basée sur la rotation de deux indicateurs qui ont la forme d'aiguilles. Cet affichage est conforme au mécanisme de la montre classique. Un mouvement, continu, est provoqué par un oscillateur qui transmet son déplacement périodique à un train d'engrenages auquel les aiguilles sont fixées.

Tout à l'opposé, l'affichage numérique, géré par une électronique qui n'impose aucune contrainte de mouvement, indique l'heure sous la forme symbolique chiffrée; la lecture de l'heure ne nécessite plus la localisation relative de l'indicateur par rapport au cadran. Le mouvement circulaire a complètement disparu.

Les trois affichages nouveaux proposés, tous gérés par une électronique, peuvent être classés entre ces deux systèmes.

L'affichage pseudo-analogique est basé sur le principe du mouvement circulaire, mais le déplacement des indicateurs est devenu discontinu: le mouvement est échantillonné.

L'affichage pseudo-numérique conserve un mouvement circulaire discontinu pour les minutes, mais indique les heures sous forme numérique.

Dans l'affichage numérique avec le signe moins, plus aucun mouvement circulaire n'apparaît. En revanche, le fait d'incrémenter l'heure dès que l'indicateur des minutes a dépassé 30 minutes ce qui permet de lire X heures moins Y minutes est propre à l'affichage analogique.

Ces considérations nous amènent à établir l'ordre typologique représenté par la figure 15 :

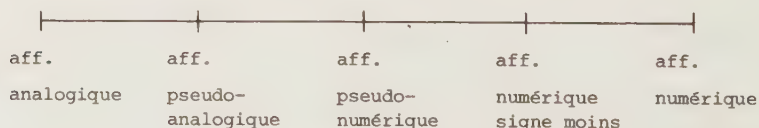


fig. 15

4.1.1 Méthode de quantification de l'information perçue

Pour évaluer les résultats obtenus en laboratoire, un critère a été défini sur la base de la quantité d'information perçue (chap. 3.2.1).

Pour chaque type d'affichage, le détail de la quantité d'information est déterminé. Les cas où l'information n'a été perçue ou mémorisée que partiellement par les sujets sont ainsi définis.

Affichage analogique

Décomposition de la quantité d'information relative aux heures :

- l'heure a été perçue correctement.

Dans notre exemple, le domaine dans lequel l'aiguille peut être perçue (domaine de véracité) est défini pour le cas particulier où l'aiguille des heures affiche trois heures.

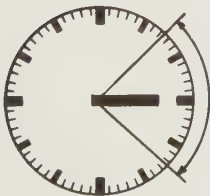


domaine de
véracité

$$N = 12$$

$$I = \log_2 12 = 3,58 \text{ bits}$$

- l'heure a été perçue avec une précision de $\pm 1 \text{ h}$.



domaine de
véracité

$$N = 4$$

$$I = 2 \text{ bits}$$

- l'heure a été perçue avec une précision de ± 2 h.



domaine de
véracité

$$N = \frac{12}{5}$$

$$I = 1,26 \text{ bit}$$

La décomposition de la quantité d'information relative aux minutes est semblable à celle des heures :

- la minute est perçue correctement

$$N = 60$$

$$I = 5,91 \text{ bits}$$

- la minute est perçue avec une précision de ± 1 minute

$$N = 20$$

$$I = 4,32 \text{ bits}$$

- précision de ± 2 minutes

$$N = 12$$

$$I = 3,58 \text{ bits}$$

- précision de ± 7 minutes

$$N = 4$$

$$I = 2 \text{ bits}$$

- précision de ± 12 minutes

$$N = \frac{12}{5}$$

$$I = 1,26 \text{ bit}$$

Exemple : Le temps affiché est 6h17, le sujet a lu 5h15.
L'heure a été perçue à une heure près, tandis
que la minute à deux minutes près; la quantité
d'information devient :

$$I = 2 + 3,58 = 5,58 \text{ bits au lieu de}$$

$$9,48 \text{ bits}$$

(voir p. 55)

Affichage numérique

Sur l'affichage numérique, le temps est représenté par quatre chiffres. Les deux chiffres correspondant aux heures peuvent prendre 12 valeurs différentes, le chiffre correspondant aux dizaines de minutes 6 valeurs différentes et le chiffre des unités de minutes 10 valeurs différentes.

La décomposition de la quantité d'information devient :

$$I_{\text{heure}} = 3,58 \text{ bits}$$

$$I_{\text{diz. min.}} = 2,58 \text{ bits}$$

$$I_{\text{un. min.}} = 3,32 \text{ bits}$$

Exemple : L'heure affichée est 5h47, le sujet a lu 5h41.

L'unité des minutes a été perçue incorrectement.

La quantité d'information devient :

$$I = I_{\text{heure}} + I_{\text{diz. min.}} = 6,16 \text{ bits au lieu de } 9,48 \text{ bits}$$

Affichage pseudo-analogique

L'information est divisée en trois domaines : les heures, les multiples de 5 minutes et les minutes.

En ce qui concerne les heures et les multiples de 5 minutes, la décomposition de la quantité d'information est identique à la décomposition de l'heure de l'affichage analogique :

- l'heure ou le multiple de 5 minutes est perçu correctement :

$$N = 12$$

$$I = 3,58 \text{ bits}$$

- l'heure ou le multiple de 5 minutes est perçu avec une précision de $\pm 1 \text{ h.}$ ou $\pm 5 \text{ min.}$ respectivement

$$N = 4$$

$$I = 2 \text{ bits}$$

- la précision est de ± 2 h. ou ± 10 min.

$$N = \frac{12}{5}$$

$$I = 1,26 \text{ bit}$$

La quantité d'information concernant les minutes est la suivante :

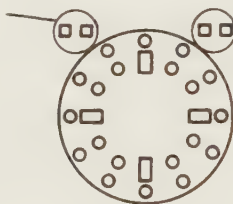
- les minutes ont été perçues correctement

$$N = 5$$

$$I = 2,32 \text{ bits}$$

- Seule la détection permettant de dire s'il s'agit d'une correction négative ou d'une correction positive sur le multiple de 5 minutes a été réalisée.

correction
négative



correction
positive

$$N = 2$$

$$I = 1 \text{ bit}$$

Exemple : Le temps affiché est 2h21, le sujet a lu 2h17.
Les heures sont justes, le multiple de 5 min. a été perçu à 5 min. près et le sujet a déterminé une correction positive pour le multiple de 5 min.
La quantité d'information est :

$$I = 3,58 + 2 + 1 = 6,58 \text{ bits au lieu de } 9,48 \text{ bits}$$

Affichage pseudo-numérique

L'évaluation de la quantité d'information des heures est similaire à celle de l'affichage numérique.

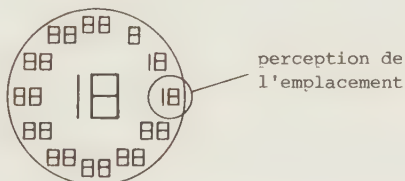
La quantité d'information produite par les minutes peut être différenciée de la manière suivante :

- la minute est perçue correctement

$$N = 60$$

$$I = 5,91 \text{ bits}$$

- l'emplacement des chiffres est perçu correctement, mais une erreur a été commise sur l'interprétation d'un ou des deux chiffres composant les minutes. Cette prise d'information revient à restituer le bon multiple de 5 minutes.



$$N = 12$$

$$I = 3,58 \text{ bits}$$

- l'emplacement des chiffres est perçu avec la précision de plus ou moins un multiple de 5 minutes

$$N = 4$$

$$I = 2 \text{ bits}$$

- l'emplacement des chiffres est perçu avec la précision de plus ou moins deux multiples de 5 minutes.

$$N = \frac{12}{5}$$

$$I = 1,26 \text{ bit}$$

Exemple : Le temps affiché est 12h42, le sujet a lu 12h45.
L'emplacement des minutes a été détecté à un multiple de 5 minutes près.

$$I = 3,58 + 3,58 = 7,16 \text{ bits au lieu de } 9,48 \text{ bits}$$

Affichage numérique avec le signe moins

La décomposition du contenu informationnel est identique à celle relative à l'affichage numérique à une exception près : le chiffre correspondant aux dizaines de minutes ne peut prendre que trois valeurs différentes, à savoir : 0, 1 et 2 donc

$$I_{\text{diz. min.}} = 1,58$$

et le signe + ou - a le contenu informationnel de 1 bit.

Exemple : Le temps affiché est 7h-18, le sujet a lu 7h-13.

La quantité d'information est :

$$I = I_{\text{heure}} + I_{\text{signe}} + I_{\text{diz.}} = 3,58 + 1 + 1,58 = 6,16 \text{ bits}$$

au lieu de 9,48 bits

4.2 Lecture de l'heure dans la réalité

L'enquête qui a pour objet l'analyse de la lecture de l'heure dans la réalité comprend trois parties :

- la fiche d'auto-observation
- l'interview pré-questionnaire
- l'interview post-questionnaire

Situation expérimentale

Sur les 111 fiches d'auto-observation qui ont été restituées par les sujets observés, 43 (39%) fiches n'ont pas pu être utilisées. Elles présentaient trop de lacunes : les raisons de lectures évoquées n'étaient pas assez claires (même après l'interview post-questionnaire) ou la notion de précision de lecture n'a pas été comprise : la précision désirée par l'utilisateur étant assimilée à la précision de la montre.

La composition de la population des 68 sujets qui ont rempli les 68 fiches utilisables est la suivante :

sexe :	39 hommes et 29 femmes
profession :	12 personnes exerçant une profession manuelle
	20 employés
	19 cadres
	10 ménagères
	7 personnes en formation
âge :	21 personnes âgées de 15 à 24 ans
	26 personnes âgées de 25 à 39 ans
	21 personnes âgées de 40 à 65 ans

Ces 68 fiches d'auto-observation ont permis de relever 1660 lectures sur la base desquelles les résultats ont été établis.

Le test s'est déroulé du 15 mars au 15 avril 1978, principalement dans la région neuchâteloise.

Les interviews ont été réalisées et les fiches distribuées par une douzaine d'étudiants.

Résultats

4.2.1 Fiche d'auto-observation

Pour 210 des 1660 lectures enregistrées, il n'a pas été possible d'attribuer un mode de lecture : la raison invoquée était ambiguë ou simplement absente; ainsi, un mode ne pouvait être défini avec certitude. Elles sont sous la rubrique "indéterminé" du tableau 1 qui représente les résultats.

		Mode de lecture								total	
		absolu		dichotomique		relatif		indéterminé			
		N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
précision de lecture	1 h	0	0			2	0,1			2	0,2
	½ h	1	0,1			4	0,2			5	0,5
	¼ h	1	0,1			42	2,5			43	4,6
	10 min	1	0,1			75	4,5			76	8,2
	5 min	28	1,7			467	28,1			495	53,3
	1 min	24	1,4			273	16,4			297	32,0
	1 sec	2	0,1			9	0,5			11	1,2
total		57	3,4	521	31,4	872	52,5	210	12,7		

tab. 1

Remarque : Toutes les valeurs en pourcent sont calculées sur la base de 1660 lectures, à l'exception des valeurs en pourcent de la colonne située à l'extrême droite qui sont calculées sur la base de 929 lectures (somme des lectures absolues et relatives). En effet, seuls ces deux modes de lecture permettent de déterminer une précision de lecture.

Ces résultats permettent d'obtenir les fréquences nécessaires pour la détermination des temps de réaction moyens partiels et de l'erreur relative moyenne partielle (chap. 3.2.3) :

$$\begin{aligned}
 f_{al} &= 1,4 \% \\
 f_{a5} &= 1,7 \% \\
 f_{r1} &= 16,4 \% \\
 f_{r5} &= 28,1 \% \\
 f_d &= \underline{31,4 \%} \\
 f &= 79 \%
 \end{aligned}$$

Les valeurs moyennes partielles ainsi définies recouvrent 79% (f) des types de lectures rencontrés dans la réalité.

D'après les résultats, nous constatons que la lecture relative est la plus utilisée; elle est suivie par la lecture dichotomique qui se détache très nettement de la lecture absolue (histogramme de la fig. 16).



fig. 16

L'hypothèse zéro selon laquelle les fréquences de lecture relative et de lecture dichotomique sont égales peut être rejetée à .001 ($\chi^2_{\text{théorique}} = 10,83$; $\chi^2_{\text{empirique}} = 88,44$).

De même, la différence entre la lecture dichotomique et la lecture absolue est significative à .001 ($\chi^2_{\text{théorique}} = 10,83$; $\chi^2_{\text{empirique}} = 372,48$).

Les précisions de lecture les plus fréquentes sont dans l'ordre : les 5 min., la min., les 10 min. Elles sont représentées par l'histogramme de la fig. 17.

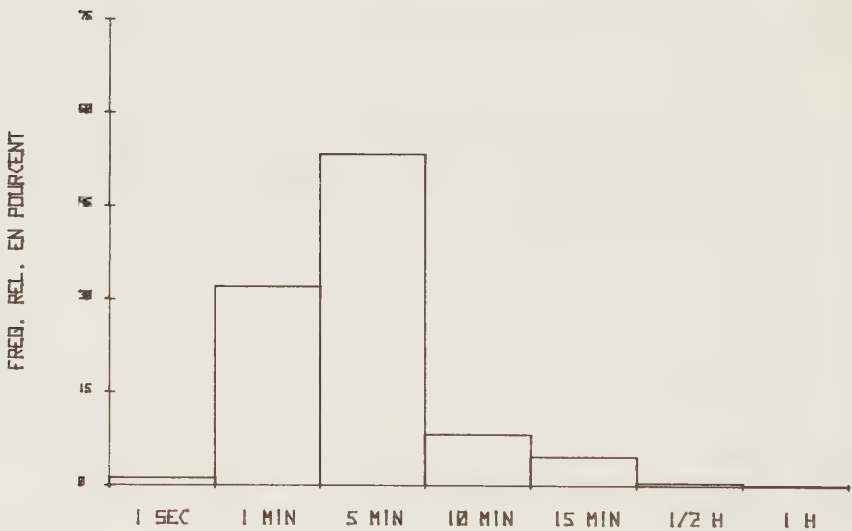


fig. 17

Bien que la majorité des montres affichent la seconde, cette précision est très rarement utilisée.

En cumulant les précisions de lecture inférieures ou égales à 5 minutes et en négligeant la précision de la seconde, nous obtenons un résultat important :

69% des lectures demandent une précision < 5 min.

32% des lectures demandent une précision = 1 min.

La différence entre la précision < 5 min et la précision = 1 min. est significative à .001 (χ^2 théorique = 10,83 ; χ^2 empirique = 114,35).

4.2.2 Interview pré-questionnaire

Bien que la fréquence de lecture journalière mesurée ne soit pas importante dans le cadre de notre étude, il est intéressant de la relever et de la comparer avec la fréquence présumée par les personnes interrogées lors de l'interview pré-questionnaire.

Sur les 68 personnes qui ont restitué une fiche codifiable, 4 (5,9%) personnes n'ont pas pu exprimer, lors de l'interview pré-questionnaire, les lectures réalisées au cours d'une journée.

Les 64 sujets qui ont répondu, ont estimé qu'ils faisaient en moyenne 21,7 lectures quotidiennement.

Ces 64 sujets ont réalisé la somme de 1599 lors du test, ce qui donne une moyenne de 25,0 lectures.

Sur les 64 sujets, 46 (72%) ont sous-estimé le nombre de lectures qu'ils réalisaient.

La différence entre la fréquence présumée et la fréquence mesurée est significative à .001 (test du signe; Z = 3,65).

L'hypothèse de travail selon laquelle les sujets ne sont pas conscients de nombre de lectures effectuées au cours d'une journée est vérifiée. La fiche d'auto-observation peut être considérée, dans ce cas, comme un moyen d'investigation supérieur à l'interview ou au questionnaire.

Le fait que la fréquence estimée dans le pré-questionnaire soit inférieure à la fréquence mesurée par la fiche d'auto-observation peut s'expliquer à travers deux raisons.

- Les moments importants tels que le réveil, le départ au travail, la pause, le retour à la maison, les repas sont bien décrits dans l'interview, mais le nombre de lectures réalisées lors de ces instants est sous-estimé.
- L'énumération, pendant l'interview, des lectures effectuées lors des moments de peu d'importance (lectures dichotomiques permettant de se situer dans la journée, principalement) est souvent incomplète. Les sujets sont peu conscients de ce genre de lecture.

4.2.3 Interview post-questionnaire

Après avoir rempli la fiche d'auto-observation, les sujets furent interrogés sur l'influence du test. Sur les 68 sujets, 44 (65%) donnèrent une réponse. Ils se répartissent de la manière suivante (100% correspond à 44 sujets) :

pas influencé	peu influencé	influencé	très influencé
18 (40,9%)	21 (47,7%)	5 (11,4%)	0

Vingt-six personnes déclarent donc n'avoir été que peu ou pas influencées. Pour dix d'entre elles, nous n'avons pas d'indications plus précises. Un sujet estime avoir fait plus de lectures et 15 prétendent en avoir réalisés moins.

Ces dernières ont invoqué deux raisons principales :

- Avant la lecture, il y a prise de conscience de l'opération; elle est due au test. Les lectures inutiles sont évitées.
- Lorsque les lectures sont très nombreuses (points d'accumulation pendant les instants importants, p.e.), le sujet se refuse à certaines lectures pour ne pas devoir les noter sur la fiche.

Les personnes interrogées ont été principalement influencées dans le sens où elles ont réalisé moins de lectures que dans la réalité. La différence entre la personne qui a fait plus

de lectures et les 15 qui en ont réalisé moins est significative à .001 (test binomial); elle n'est pas due au hasard. Tout laisse à penser que la moyenne des lectures journalières mesurée est inférieure à la moyenne réelle. En conséquence, le résultat qui met en évidence une sous-estimation du nombre réel de lectures réalisées (interview pré-questionnaire) est renforcé.

4.3 Efficacité fonctionnelle des différents types d'affichages

Les situations expérimentales et les résultats correspondant à :

- la perception de l'information
- la mémorisation de l'information
- le traitement global de l'information dans le système sensorimoteur humain

sont exposés dans trois sous-chapitres distincts.

4.3.1 Perception de l'information

Au niveau de la perception de l'information, les affichages sont évalués à travers deux expériences :

- la mesure tachistoscopique
- l'analyse des mouvements oculaires

4.3.1.1 Mesure tachistoscopique

Situation expérimentale

Le test consiste, pour une personne désignée, à restituer, verbalement ou par écrit, l'information contenue dans un affichage qui lui est présenté pendant une durée très courte. Le stimulus est présenté sous la forme d'une diapositive projetée sur un écran avec un système muni d'un obturateur commandé électroniquement (voir annexe p. 213). L'affichage est perçu sous un angle visuel de 5°.

Dix sujets recrutés parmi les professeurs, collaborateurs et étudiants de l'Université de Neuchâtel, ont participé au test. Chaque sujet a été soumis à l'observation de cinq séries de diapositives correspondant aux cinq types d'affichages. Chaque série est formée d'un même type d'affichage; elle est composée de 12 diapositives représentant 12 temps différents choisis aléatoirement parmi un ensemble de 20 diapositives dont les temps ont aussi été sélectionnés aléatoirement.

L'ordre de présentation des séries est déterminé de

façon à ce qu'il y ait équilibre : pour l'expérience globale, chaque série a occupé uniformément chaque place (de 1 à 5). Toutes les séries de tests sont précédées d'une courte série tenant lieu d'apprentissage. Dans le cas des deux séries correspondant aux affichages analogique et numérique, la phase préliminaire se limite à une diapositive; pour les affichages nouveaux, la série préliminaire est composée de trois diapositives.

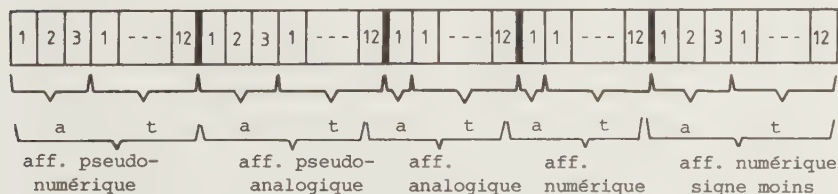
Comme les sujets sont relativement habitués aux différents types d'affichages, nous n'avons pas cru bon de faire précéder chaque série de test par une longue série d'apprentissage, ce qui aurait eu pour conséquence de donner une plus grande importance au facteur relatif à la fatigue.

Cette courte phase préliminaire a pour principal but d'informer le sujet sur le genre d'affichage qui compose la série de test afin d'éviter un effet de surprise.

Nous avons remarqué, dans des expériences pilotes, que l'affichage pseudo-analogique nécessitait une phase d'apprentissage plus longue. Cette remarque est confirmée par les résultats de l'évaluation de la courbe d'apprentissage pour le processus global du traitement de l'information (chap. 4.3.3.2). En conséquence, nous avons éliminé, en partie, certains effets dus à l'apprentissage en permettant aux sujets de dessiner, pour ce type d'affichage, l'information perçue.

Pour les autres affichages, l'information est restituée verbalement après l'apparition de chaque stimulus.

La fig. 18 représente un exemple de déroulement du test pour un sujet.



a : série préliminaire

t : série de test

fig. 18

Chaque série de 12 diapositives est divisée en quatre parties de trois diapositives, chacune correspondant à quatre temps d'exposition différents.

Pour les affichages analogique et numérique, les quatre temps d'exposition suivants ont été choisis : 100, 50, 20 et 10 ms. Pour les trois affichages nouveaux, 200, 100, 50 et 20 ms ont été sélectionnés.

Cette distinction provient des résultats d'un test pilote qui a mis en évidence le fait que pratiquement aucune information concernant les affichages pseudo-analogique et pseudo-numérique n'était perçue pour une durée d'exposition de 10 ms. Cette même constatation n'est pas valable pour les affichages conventionnels. Les plages relatives aux durées d'exposition ont donc été adaptées en fonction du type d'affichage.

Tous les affichages peuvent cependant être comparés pour les temps d'exposition de 20, 50 et 100 ms.

Il faut relever que la quantité d'information qui est perçue par l'être humain n'est pas uniquement fonction de la durée d'exposition, mais aussi de la luminance du stimulus (Kaufman, 1974, p. 94), sous-entendu que la source émet une quantité d'information constante.

Dans le système visuel, la rétine est sensibilisée par l'énergie lumineuse reçue. Il en découle que la probabilité de détecter un stimulus augmente avec la durée d'exposition de ce stimulus et avec sa luminance.

Formellement : $C = t \cdot L$

C est une constante représentant l'effet de stimulus sur l'observateur

t est la durée d'exposition du stimulus

L est la luminance du stimulus

La constance de ce produit est valable pour une durée d'exposition maximale située aux environs de 100 ms.

En conséquence, nous avons pris la précaution de présenter la luminance de chaque type d'affichage de manière strictement identique.

Résultats

Les 10 sujets ont procédé au total à 600 lectures expérimentales, qui peuvent être décomposées de la façon suivante :

120 lectures ont été réalisées par type d'affichage

30 lectures ont été réalisées par type d'affichage et par durée d'exposition.

Le tab. 2 représente les différentes sommes des quantités d'information perçue lors de 30 lectures pour chaque type d'affichage et chaque durée d'exposition. Si toute l'information avait été perçue correctement, la somme serait de 284,4 bits ($30 \times 9,48$ bits).

Les valeurs ont été évaluées avec la méthode décrite au chap. 4.1.1; elles sont représentées en bits.

durée d'ex- position affichages	10 ms	20 ms	50 ms	100 ms	200 ms
analogique	159,56	172,41	242,89	242,02	
numérique	20,28	92,98	262,28	281,08	
pseudo-analogique		64,02	163,76	206,18	208,22
pseudo-numérique		31,96	198,78	264,00	269,38
numérique signe moins		104,36	265,92	282,40	284,40

tab. 2

Comparaison des affichages analogique et numérique

Les résultats correspondant à ces deux types d'affichages sont représentés par la fig. 19.

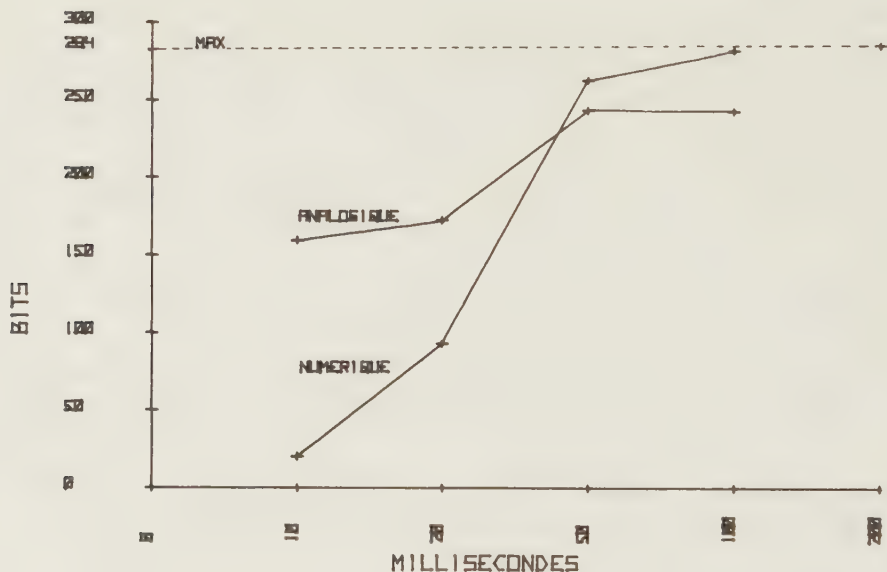


fig. 19

Ces deux affichages se comportent de façon très différente :

- Pour une faible durée d'exposition (10 ms), les sujets perçoivent en moyenne plus de la moitié de l'information contenue dans l'affichage analogique. Dans la plupart des cas, il s'agit de la perception de l'information à cinq minutes près. Sur l'affichage numérique, très peu d'information est perçue.

Pour percevoir de l'information sur l'affichage numérique, il est nécessaire de percevoir au moins un chiffre. Or, dès qu'un segment formant un chiffre n'est pas perçu (p. e. lecture de 1 au lieu de 7), toute l'information concernant ce chiffre est perdue.

Ce n'est pas le cas pour l'affichage analogique : pour recevoir de l'information, il faut percevoir la position approxi-

mative d'une aiguille.

En conséquence, il semble que, pour une durée d'exposition faible, la perception de la position approximative d'aiguilles est mieux réalisée que la perception de symboles qui se trouvent toujours au même emplacement.

- Lorsque le temps d'exposition est plus élevé (100 ms), la presque totalité de l'information de l'affichage numérique est perçue.

En revanche, l'affichage analogique n'est pas perçu avec la précision maximale : la lecture est réalisée à une ou deux minutes près.

L'hypothèse selon laquelle les affichages analogique et numérique présentent une même caractéristique en fonction de la durée d'exposition peut être rejetée avec la probabilité $p = .001$ (test de Kolmogorof-Smirnof) de se tromper.

Remarque : Les tests statistiques utilisés pour l'évaluation des expériences de perception et de mémorisation sont non-paramétriques, la distribution des résultats ne se répartissant pas selon une loi normale.

Dans le cas de l'affichage numérique, il est à remarquer que, lorsque seulement un ou deux chiffres sont perçus, ce sont principalement les chiffres correspondant aux minutes qui sont perçus. Expérimentalement, 22 cas se sont présentés et, dans deux cas seulement, ce sont les chiffres des heures qui ont été perçus. Ce résultat n'est certainement pas dû au fait que les minutes sont affichées en bleu et les heures en vert. En effet, lors d'une autre expérience où les chiffres étaient représentés par une couleur unique, le même effet a été constaté (Bouille, 1978).

A ce niveau de la recherche, seules des explications hypothétiques peuvent être émises, nous en voyons deux :

- Il se peut que le pattern le plus complexe soit perçu en premier. Les deux chiffres des minutes sont plus complexes que le ou les deux chiffres des heures.

Cette hypothèse est à mettre en relation avec l'étude des mouvements oculaires décrite par A. Lévy-Schoen (1969, p. 175) qui précise que les fixations oculaires sont plus nom-

breuses sur les zones compliquées.

La probabilité est donc plus grande que la première fixation ait lieu sur le pattern le plus complexe.

- Dans les cas réels de lecture de l'heure, l'utilisateur a, en principe, une notion de l'heure présente; il désire donc connaître en premier lieu l'information concernant les minutes et, en second lieu, il confirmera l'information des heures. Il réaliserait donc une lecture de droite à gauche.

Comparaison des affichages de type nouveau

Les résultats correspondant aux trois affichages nouveaux sont représentés par la fig. 20.

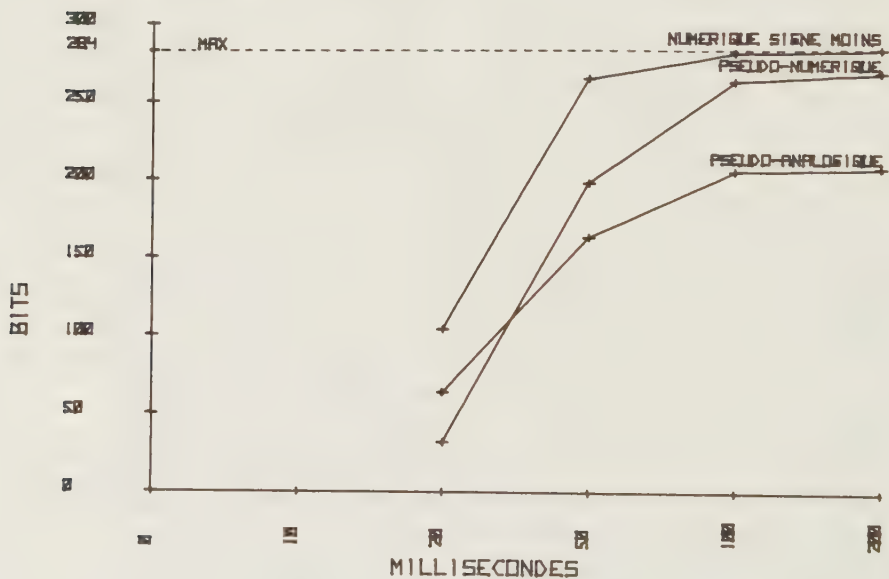


fig. 20

La caractéristique de la courbe relative à l'affichage pseudo-numérique diffère significativement de celle de l'affichage numérique avec signe moins ($p = .01$, test de Kolmogorof-Smirnof).

Les autres comparaisons ne font apparaître aucune différence significative. Il faut toutefois relever que :

- Pour une faible durée d'exposition (20 ms), l'information perçue est fortement réduite.
 Dans le cas de l'affichage pseudo-analogique, un élément (heure ou multiple de cinq minutes) est quelquefois localisé, mais on trouve souvent une interversion entre heures et multiples de cinq minutes.
 Dans le cas de l'affichage pseudo-numérique, très peu d'éléments sont perçus, il s'agit soit des heures, soit de la localisation des chiffres des minutes.
 Lorsqu'un élément est perçu dans l'affichage numérique avec signe moins, il s'agit d'un chiffre correspondant aux dizaines ou aux unités de minutes et non aux heures. Nous retrouvons le même phénomène relevé avec l'affichage numérique.
- Lorsque la durée d'exposition est plus élevée (200 ms), l'information perçue dans l'affichage pseudo-analogique correspond le plus souvent aux heures et multiples de cinq minutes; l'information des unités de minutes n'est en général pas perçue. Les erreurs les plus fréquentes proviennent, d'une part d'une confusion entre heure et multiple de cinq minutes et, d'autre part, d'un manque de précision dans la localisation des points correspondant aux heures et aux multiples de cinq minutes; par exemple, le sujet perçoit quatre heures au lieu de cinq heures.
 Dans le cas de l'affichage pseudo-numérique, l'information perdue provient du fait que les chiffres des minutes n'ont pas toujours été perçus correctement, mais la localisation de ces chiffres est juste.
 Toute l'information de l'affichage numérique avec signe moins a été perçue (le maximum a été atteint).

Comparaison des cinq types d'affichages

Comme la durée d'exposition a été adaptée selon que les

affichages sont de conception nouvelle ou ancienne, la comparaison de tous les types ne peut se faire que dans l'intervalle compris entre 20 et 100 ms.

La fig. 21 représente les résultats des cinq affichages.

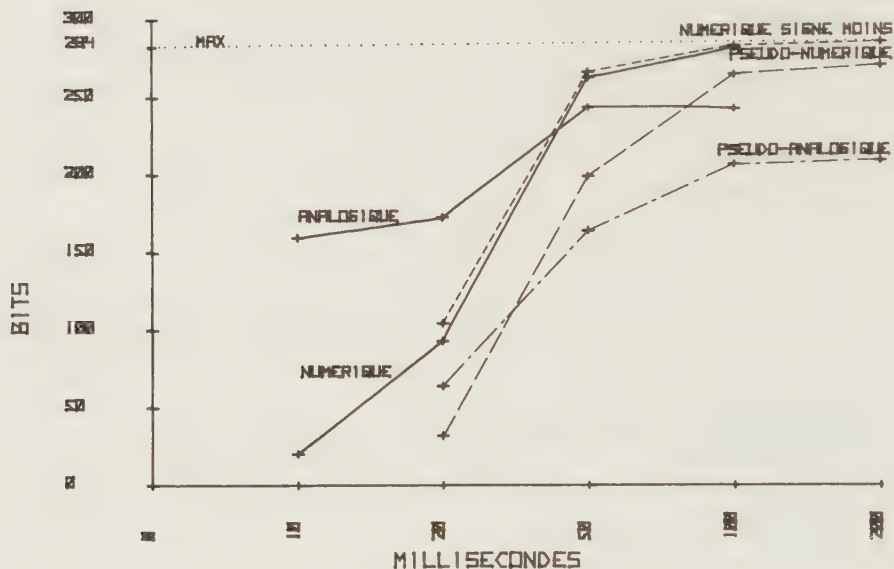


fig. 21

Nous relevons deux points intéressants :

- 1) La caractéristique de l'affichage numérique avec signe moins est similaire à celle de l'affichage numérique. Le signe moins ne semble pas amener de difficulté au niveau de la perception.
- 2) Les affichages analogique et pseudo-analogique (type analogique) se comportent différemment que les affichages numérique, pseudo-numérique et numérique avec signe moins (type numérique). Dès que la durée d'exposition dépasse un certain seuil (50 ms), les affichages du type numérique sont perçus avec une grande exactitude. Pour une durée inférieure à ce seuil, l'information perçue est très faible.

En augmentant la durée d'exposition, le contenu de l'information perçue sur un affichage du type analogique croît progressivement; la notion de seuil est moins marquée.

4.3.1.2 Analyse des mouvements oculaires

Remarque : Cette étude a été réalisée, à notre demande et avec notre participation, à l'Institut de psychologie de l'Université de Zurich (qui a mis les appareils nécessaires à notre disposition) et avec le concours de deux étudiants : MM. M. Gygax et M. Vetsch que nous remercions de leur collaboration. Nous remercions également M. F. Stoll, directeur du Département de psychologie appliquée qui a aimablement mis ses installations à disposition. Les résultats expérimentaux de ce travail sont décrits ci-dessous.

Situation expérimentale

L'étude des mouvements oculaires a été réalisée pour un mode et une précision de lecture : lecture absolue à une minute. L'enregistrement a été effectué pendant le temps d'exposition individuelle (la définition de ce temps est donnée dans le chap. 3.2.3, p. 61) de l'affichage à l'aide d'un appareil spécialisé (Biometrics). Les mouvements sont captés par un système photoélectrique, transformés et restitués sur un enregistreur ou une table traçante sous la forme de deux courbes. L'une représente les mouvements selon le déplacement horizontal en fonction du temps ($x(t)$); l'autre les mouvements selon le déplacement vertical en fonction du temps ($y(t)$).

En éliminant le paramètre t des deux fonctions $x(t)$ et $y(t)$ nous obtenons la courbe $x-y$ qui permet de mieux se rendre compte des lieux géométriques des divers points de fixation (représentation spatiale).

Cette expérience a nécessité la participation de trois sujets qui ont lu 10 stimuli par type d'affichage. Chaque sujet a pris part au test des cinq affichages. Les résultats sont établis sur la base de 150 enregistrements de mouvements oculaires.

Résultats

Le premier résultat obtenu est d'ordre quantitatif, il donne le nombre moyen de fixations nécessaires à chaque lecture de chaque type d'affichage (tab. 3). Le nombre moyen est calculé sur la base de 30 lectures.

type d'affichage	nombre moyen de fixations
analogique	1.8
numérique	1.0
pseudo-analogique	3.8
pseudo-numérique	1.2
numérique signe moins	1.0

tab. 3

Le second résultat est d'ordre qualitatif : les lieux géométriques qui correspondent aux différentes fixations sont déterminés.

Pour chaque type d'affichage, les courbes $x(t)$, $y(t)$ et, dans certains cas, $x-y$ sont représentées.

Par souci de clarté et de simplification, un seul exemple est discuté : il s'agit de la lecture de 8h22.

Affichage analogique

Les courbes $x(t)$, $y(t)$ et $x-y$ sont représentées par la fig. 22.

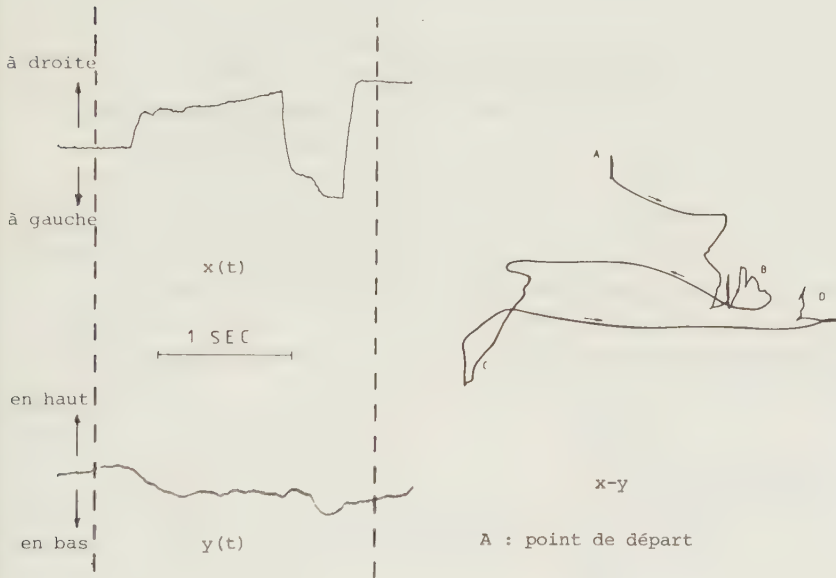


fig. 22

Le temps d'exposition correspond à l'espace compris entre les deux lignes traitillées (courbes $x(t)$ et $y(t)$). Environ 0,25 sec. après l'apparition de l'affichage, une saccade à droite et légèrement contre le bas est enregistrée. Elle donne lieu à une fixation (B) d'une durée d'environ 1 sec.; elle correspond à la pointe de l'aiguille des minutes, positionnée sur 22 minutes. Cette fixation est suivie d'une saccade horizontale à gauche et d'une fixation (C) d'environ 0,5 sec. C'est le lieu géométrique de la pointe de l'aiguille des heures située à 8 h. Il s'ensuit une légère correction vers le bas à gauche. Une dernière saccade a lieu à droite. Elle engendre une

fixation (D) d'environ 0.3 sec. Elle n'est pas prise en considération car elle est située, en grande partie, en dehors du temps d'exposition.

Le temps d'exposition total est de 2,15 sec.; deux fixations ont été enregistrées¹⁾.

Nous rappelons (chap. 3.2.1) qu'une fixation oculaire est considérée comme telle si elle a une durée minimale de 150 ms et si elle est provoquée par une saccade qui a donné lieu à un déplacement angulaire de $1,5^\circ$ au minimum (ce qui correspond à 1 cm sur les diagrammes $x(t)$ et $y(t)$). On observe, en général, une saccade principale suivie parfois d'une seconde saccade de correction, en recul ("overshoot") ou en prolongement de la première ("undershoot") (Lévy-Schoen et Renard, 1975, p. 26).

Nous considérons cette saccade de correction comme faisant partie de la fixation principale.

Affichage numérique

Seules les courbes $x(t)$ et $y(t)$ sont représentées (fig. 23).

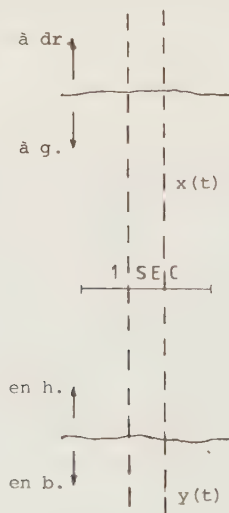


fig. 23

1) La mesure des temps d'exposition nécessaires à la lecture de chaque type d'affichage et les résultats sont décrits dans le chap. 4.3.3.1.

Lors de cette lecture n'apparaît aucun mouvement oculaire.

Le temps d'exposition est très court (env. 0.3 sec.).

Une seule fixation suffit à prendre toute l'information contenue dans l'affichage numérique. L'angle d'ouverture visuel est le même que celui sous lequel est présenté l'affichage analogique (5°).

En conséquence, la fixation oculaire ne représente pas une constante quant au contenu de l'information. La forme sous laquelle l'information est présentée joue un rôle essentiel.

Affichage pseudo-analogique

Les courbes $x(t)$, $y(t)$ et $x-y$ sont représentées par la fig. 24.

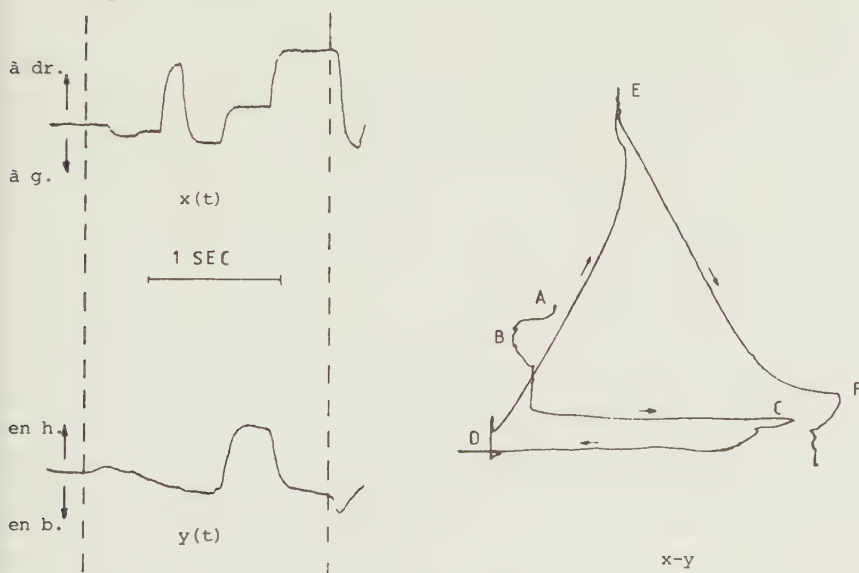


fig. 24

Au départ a lieu un léger déplacement (B) vers la gauche d'environ 0,15 sec.; il n'est pas explicable. En même temps débute une dérive continue contre le bas, elle dure 0,8 sec. Environ 0,6 sec. après le début de l'exposition, on trouve

une saccade vers la droite (C). Les yeux se fixent pendant 50 ms, si bien qu'il n'est pas possible de considérer cet arrêt comme une fixation. Elle correspond toutefois à l'emplacement du segment des 20 min. La saccade, vers la gauche, engendre une fixation (D) sur le segment des 8 heures; elle dure 0,2 sec.

Il s'ensuit une saccade à droite vers le haut (emplacement des unités de minutes) et une fixation (E) d'environ 0,3 sec. Une dernière saccade a lieu en bas et à gauche. La fixation (F) résultante est située sur le segment des 20 min. Elle dure 0,5 sec. L'affichage a disparu 0,4 sec. après le début de cette fixation.

Le temps d'exposition est de 1,82 sec. et la lecture a demandé trois fixations.

Affichage pseudo-numérique

La fig. 25 représente les caractéristiques $x(t)$, $y(t)$ et $x-y$.

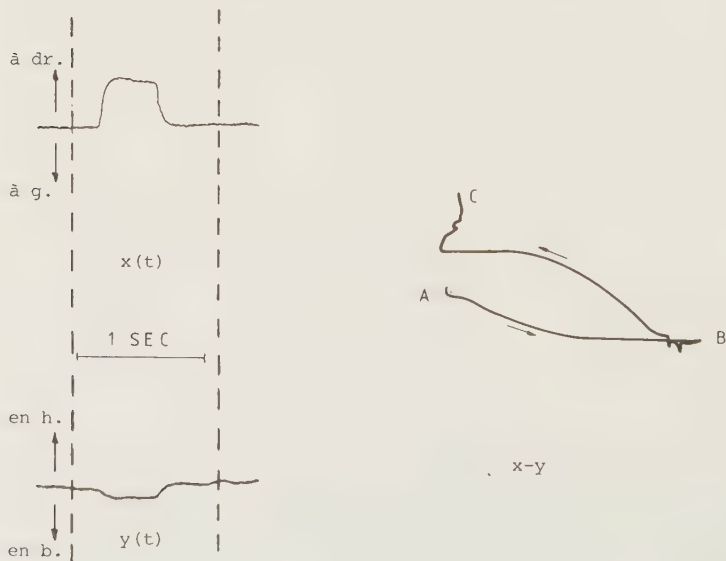


fig. 25

Dans ce cas, les mouvements oculaires sont simples. Après 0,2 sec., nous trouvons une saccade contre la droite et légèrement vers le bas. Il s'ensuit une fixation (B) de 0,4 sec. qui correspond au lieu des chiffres indiquant 22 min.

Une deuxième saccade ramène les yeux vers le centre de l'affichage. Elle provoque une fixation (C) de 0,45 sec. sur le chiffre des heures.

Le temps d'exposition est de 1,1 sec. La lecture a nécessité deux fixations.

Affichage numérique avec signe moins

Les courbes $x(t)$ et $y(t)$ sont représentées par la fig. 26.

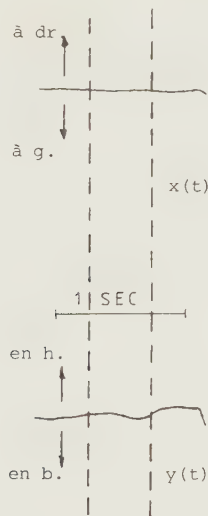


fig. 26

La durée d'exposition est de 0,46 sec.

Aucun mouvement oculaire n'a eu lieu. Cet affichage a été lu avec une seule fixation.

Nous nous trouvons dans le même cas que celui de l'affichage numérique.

4.3.1.3 Discussion

L'analyse des mouvements oculaires conduit, pour certains points, aux mêmes résultats que ceux obtenus avec la mesure tachistoscopique :

La perception de l'information complète contenue dans les affichages numérique et numérique avec signe moins ne nécessite qu'une seule fixation.

Lors de la mesure tachistoscopique, nous avons déjà relevé que, pour 100 ms, durée ne permettant qu'une seule fixation, pratiquement la totalité de l'information de ces deux affichages était perçue.

De plus, l'analyse des mouvements oculaires permet d'élaborer des conclusions que nous n'aurions pu émettre sur la seule base de la mesure tachistoscopique.

Cette dernière expérience a montré que, pour des durées d'exposition qui permettent au sujet de ne procéder qu'à une seule fixation, l'information complète des affichages analogique et pseudo-analogique n'a pu être perçue. Avec ces seuls résultats, nous ne pouvions pas conclure que plus d'une fixation était nécessaire pour la perception de l'information de ces deux affichages.

Ainsi, seule l'analyse des mouvements oculaires permet de conclure que, dans la majorité des cas, la perception de l'information complète des affichages du type analogique nécessite plusieurs fixations.

Les résultats relevés dans la mesure tachistoscopique et l'analyse des mouvements oculaires déterminent une caractéristique de l'affichage pseudo-numérique qui se situe entre les affichages du type analogique et les affichages numérique et numérique avec signe moins.

Il faut encore relever que la perception de l'affichage pseudo-analogique est la plus complexe. Si nous traçons un modèle général des mouvements oculaires, nous constatons qu'elle exige trois fixations : une pour chaque sorte d'information (les heures, les multiples de cinq minutes et les unités des minutes).

En dehors du fait que cet affichage est différent des modèles généralement connus, il est probable que ses mauvaises performances proviennent de sa géométrie.

Il semblerait que les points soient moins bien perçus que les aiguilles et que le sujet ait plus de difficulté à évaluer l'angle. L'aiguille a la qualité de relier le centre du cadran au repère imprimé sur la périphérie; l'oeil n'est pas obligé de prospecter toute la surface du cadran pour détecter l'indicateur et il n'est pas nécessaire de tirer une éventuelle ligne imaginaire entre le centre et le point pour évaluer l'angle. Cette hypothèse permettrait d'expliquer certaines fixations relevées qui ne correspondent pas à une prise de l'information concernant le temps affiché. Elles auraient un but exploratoire permettant de trouver les segments qui sont activés.

4.3.2 Mémorisation de l'information

Situation expérimentale

Pour les cinq types d'affichages, cinq séries de 10 diapositives sont présentées au sujet. Chaque série est composée d'un même type d'affichage.

Après la présentation d'une série, le sujet doit restituer, dans un ordre quelconque, les temps qu'il a mémorisés.

Les affichages sont présentés sous la forme de diapositives qui sont projetées sur un écran. L'affichage est perçu sous un angle visuel de 5°.

A l'exception de l'affichage pseudo-analogique, les séries

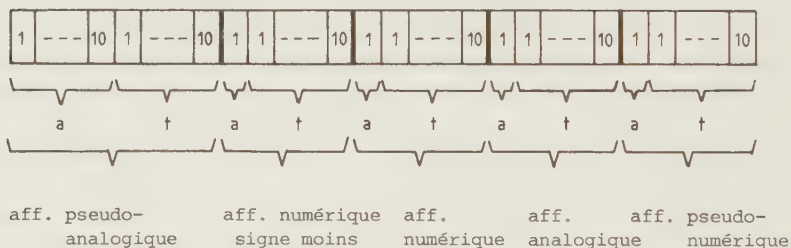
de test sont précédées d'une diapositive qui doit permettre au sujet de se rendre compte du type d'affichage dont est composée la série de test.

La série relative à l'affichage pseudo-analogique, qui nécessite une longue phase d'apprentissage (voir chap. 4.3.3), est précédée d'une série d'apprentissage formée de 10 diapositives.

Les 10 diapositives composant les séries de test ont été choisies aléatoirement parmi un ensemble de 20 diapositives dont les temps ont aussi été choisis aléatoirement.

L'ordre dans lequel les séries sont présentées est équilibré de telle façon que chaque série ait occupé chaque position (de 1 à 5) un nombre de fois égal.

La figure 27 représente un exemple de programme de test soumis à un sujet :



a = série précédant le test

t = série de test

fig. 27

La durée d'exposition de chaque diapositive de la série de test est de deux secondes. Avec le temps nécessaire à l'appareil de projection pour le transport des diapositives, la durée pour présenter la série de test complète est de 30 sec. Les 10 sujets qui ont participé à ce test ont été recrutés

parmi le personnel de l'Université de Neuchâtel (professeurs, collaborateurs et étudiants).

Résultats

Les 10 sujets ont procédé à un total de 500 lectures, soit 100 lectures par type d'affichage.

Les résultats ont été établis en fonction des deux critères définis lors de l'opérationnalisation de la mémorisation de l'information :

- critère de la quantité d'information
- critère de la précision de la réponse

Critère de la quantité d'information

Les résultats sont représentés par le tab. 4. Les valeurs correspondent à la somme des quantités d'information mémorisée. Elles sont calculées sur la base de la présentation de 100 affichages et représentées en bits.

Si l'information des 100 affichages avait été mémorisée complètement, la somme serait de 948 bits (9,48 x 100).

affichage	contenu de l'inf. (bits)	en o/o du maximum (948 bits)
analogique	355,54	37,5
numérique	332,32	35,1
pseudo-analogique	221,98	23,4
pseudo-numérique	396,70	41,8
numérique avec signe moins	339,84	35,8

tab. 4

L'histogramme de la figure 28 illustre ces résultats :

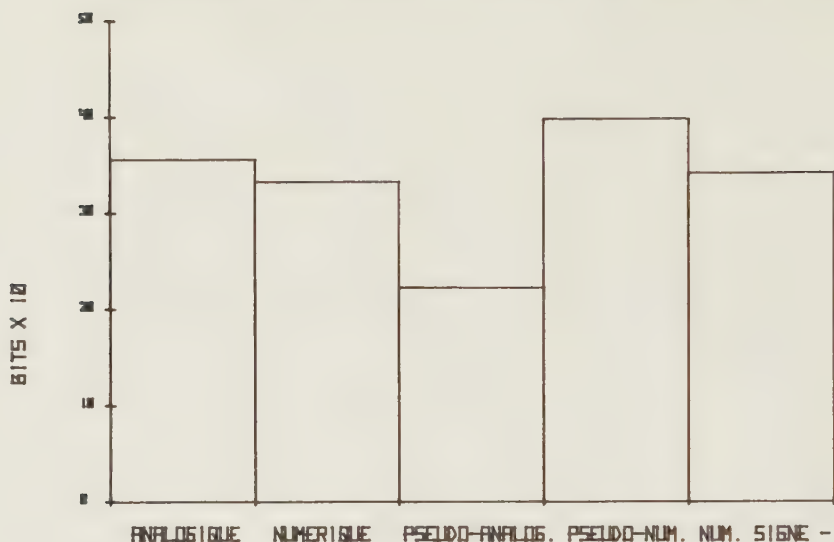


fig. 28

L'affichage pseudo-numérique présente les meilleures qualités de mémorisation.

En réalisant le test statistique du χ^2 sur les paires composées de l'affichage pseudo-numérique et des autres types d'affichages par rapport au nombre de bits mémorisés et au nombre de bits non mémorisés, nous constatons des différences significatives à .001 pour l'affichage pseudo-analogique et à .01 pour les affichages numérique et numérique avec signe moins. Par rapport à l'affichage analogique, la différence n'est pas significative.

Critère de la précision de la réponse

L'erreur entre la réponse donnée par le sujet et la valeur affichée est répartie dans l'une des 8 catégories définies

dans le chap. 3.2.2.

Le tab. 5 représente le nombre de réponses relevées dans chaque catégorie d'erreur.

La valeur qui définit la catégorie d'erreur est considérée comme une borne supérieure. Par exemple, si nous avons relevé une erreur de trois minutes entre la réponse donnée par le sujet et la valeur affichée, la réponse est classée dans la catégorie des cinq minutes.

type d'affichage erreur	analogique	numérique	ps.-analog.	ps.-num.	num. signe -
rép. exacte	6	14	5	23	16
1 min.	13	2	11	3	2
5 min.	14	5	8	7	8
10 min.	6	6	4	5	1
15 min.	4	3	1	0	2
30 min.	1	4	0	2	7
1 h.	6	10	3	3	3
> 1 h.	4	8	3	14	12
total des aff. part. ou complètement mémorisés	54	52	35	57	51
aff. non mémorisés	46	48	65	43	49
total	100	100	100	100	100

tab. 5

Statistiquement, pour les 8 catégories d'erreurs considérées, seules les caractéristiques de l'affichage analogique et de l'affichage pseudo-numérique diffèrent significativement entre elles. L'hypothèse nulle selon laquelle ces deux affi-

chages ont un même comportement peut être rejetée avec la probabilité .05 de se tromper (test de Kolmogorof-Smirnof).

En réduisant les 8 catégories à 2 catégories : réponses exactes et réponses comportant une erreur (de 1 min. à > 1 h.), nous obtenons les résultats représentés par le tab. 6. Les valeurs indiquées correspondent au nombre de réponses relevées.

type d'affichage réponses	analogique	numérique	ps.-analogique	ps.-numérique	numérique signe -
exactes	6	14	5	23	16
comportant une erreur	48	38	30	34	35

tab. 6

Les sujets ont mémorisé exactement plus d'affichages du type numérique (numérique, pseudo-numérique, numérique avec signe moins), que d'affichages du type analogique (analogique et pseudo-analogique).

Le tab. 7 représente les probabilités de rejet de l'hypothèse nulle pour les différentes paires composées d'un affichage du type numérique et d'un affichage du type analogique.

Par exemple, dans le cas de la paire définie par l'affichage analogique et l'affichage numérique, l'hypothèse nulle peut être rejetée à .05. L'hypothèse nulle signifie qu'il n'y a pas d'interaction entre ces deux affichages et les deux types de réponses (réponses exactes et celles comportant une erreur). Le test statistique utilisé est le test du χ^2 .

paire d'affichage	$\chi^2_{\text{empirique}}$	P
analog./numérique	4,33	.05
analog./ps.-numérique	12,28	.001
analog./numérique signe -	6,50	.02
ps.-analog./numérique	1,96	p.s.
ps.-analog./ps.-numérique	6,96	.01
ps.-analog./numér. signe -	3,28	p.s.

$$\chi^2_{\text{théorique}} .001 = 10,83$$

$$\chi^2_{\text{théorique}} .02 = 5,41$$

pour df = 1

$$\chi^2_{\text{théorique}} .01 = 6,64$$

$$\chi^2_{\text{théorique}} .05 = 3,84$$

tab. 7

1.3.2.1 Discussion

Les résultats du test de mémorisation à restitution libre, qui prend en considération les mémoires à court et à long terme, mettent en évidence la supériorité de l'affichage pseudo-numérique sur tous les autres types (critère du contenu de l'information). Cette supériorité est statistiquement significative par rapport aux affichages numérique, pseudo-analogique et numérique avec signe moins.

Avec le critère de la quantité d'information, les affichages analogique et numérique présentent des performances semblables. En revanche, si les réponses sont réparties dans une échelle dichotomique définie par les réponses exactes et les réponses fausses, ces deux types d'affichages présentent des comportements différents : les sujets ont mémorisé, de façon exacte, deux fois plus d'affichages numériques que d'affichages analogiques.

Le critère de la précision de la réponse nous permet d'éclaircir ce paradoxe apparent : la plupart des erreurs commises lors du test de l'affichage analogique sont petites (1 ou 5 min.); les erreurs relevées pendant le test de l'affichage

numérique se répartissent relativement uniformément sur tout le domaine d'erreur (1 min. à > 1 h.).

Ce résultat démontre la nécessité d'utiliser des critères différents.

Avec le critère dichotomique, des différences de comportement ont aussi été relevées entre l'affichage analogique et les autres affichages du type numérique (affichages pseudo-numérique et numérique avec signe moins) et entre l'affichage pseudo-analogique et l'affichage pseudo-numérique : plus de réponses exactes ont été relevées avec les affichages du type numérique qu'avec ceux du type analogique.

En conséquence, dans le processus de mémorisation, les sujets ont tendance à mémoriser les affichages du type analogique approximativement (avec une erreur de une à cinq minutes) et à mémoriser les affichages du type numérique exactement.

L'explication hypothétique que nous pouvons émettre est la suivante :

Lors de la mémorisation, le cerveau procède à des simplifications pour ne pas mémoriser les 9,43 bits contenus dans l'affichage. Cette réduction du contenu de l'information peut se faire facilement avec l'affichage analogique. Arrondir est une opération qui peut être réalisée optiquement : il suffit de considérer le repère des cinq minutes qui est le plus proche de l'aiguille des minutes.

Avec l'affichage du type numérique, arrondir exige une opération mentale; pour réduire le contenu de l'information, il est plus facile d'oublier un des chiffres de la série composant l'affichage. Dans ce cas, les erreurs ne sont pas concentrées autour de deux catégories (une et cinq minutes), mais sont réparties sur tout le domaine d'erreur.

Il faut relever que l'affichage pseudo-numérique, qui se situe typologiquement entre l'affichage analogique et l'affichage numérique, a un comportement similaire à ce dernier type.

Les mauvaises performances de l'affichage pseudo-analogique s'expliquent par le fait que, dans notre expérience, il est le plus éloigné, typologiquement, des cadres connus. Son degré de signification est moindre. En règle générale, un matériel significatif est mieux mémorisé qu'un matériel peu significatif (Florès dans le Ny et al., 1964, p. 213).

4.3.3 Processus global du traitement de l'information

L'évaluation des différents types d'affichages pour le processus global de traitement de l'information est réalisée en laboratoire avec les critères du temps d'exposition individuelle, du temps de réaction verbale et de l'erreur de lecture. Une estimation de la phase d'apprentissage pour chaque affichage complète cette analyse.

L'expérience qui sert à mesurer les temps de réaction et l'erreur de lecture a également été effectuée à l'Institut de psychologie de l'Université de Zurich avec le concours de deux étudiants (MM. M. Gyax et M. Vetsch).

Dans le chapitre consacré à ces mesures (chap. 4.3.3.1), nous nous contentons de reproduire les résultats et de relater les aspects importants de la situation expérimentale.

4.3.3.1 Mesure des temps de réaction et de l'erreur de lecture

L'équipement expérimental est décrit dans l'annexe p. 215. L'évaluation de la lisibilité pour le processus global du traitement de l'information a été divisée en trois expériences distinctes.

La première expérience a pour objet l'évaluation des deux affichages conventionnels, la seconde l'évaluation des trois nouveaux types, pour les modes de lecture absolue et relative. Ces deux expériences ont été séparées afin d'optimiser le processus d'apprentissage des nouveaux affichages.

La troisième expérience traite de la lecture dichotomique pour les cinq types d'affichages. Elle se distingue des deux autres non seulement par la consigne donnée au sujet, mais aussi par le caractère de la réponse qui n'est plus quantitative mais qualitative. Le tab. 8 représente la planification des expériences.

MODE DE LECTURE			AFFICHAGES							
			analogique		digital	pseudo-analogique	pseudo-numérique	numérique signe moins		
dichotomique	relative	absolue	PRECISION DE LECTURE							
			1 min.	5 min.	1 min.	5 min.				
			EXPERIENCE I			EXPERIENCE II				
			EXPERIENCE III							

tab. 8

Les trois expériences ont nécessité 48 sujets : 24 femmes et 24 hommes. Parmi les 48 sujets, 8 sont étudiants; les 40 autres proviennent de milieux divers.

Les 48 sujets ont été répartis dans deux groupes correspondant à la série d'expériences suivante :

- Groupe A (N = 24) : Expérience I 1. absolue (af. conv.)
Expérience II 1. absolue (af. nouv.)
Expérience III 1. dichotomique
- Groupe B (N = 24) : Expérience I 1. relative (af. conv.)
Expérience II 1. relative (af. nouv.)

L'expérience III relative à la lecture dichotomique n'a donc été effectuée qu'avec le groupe A qui a procédé aux lectures

absolues qui sont moins astreignantes que les lectures relatives.

L'ordre dans lequel se sont déroulées les expériences a toujours été le même : expérience I, expérience II et expérience III (groupe A). Le fait d'aborder, en premier, l'expérience relative aux affichages connus donne au sujet la possibilité de s'habituer et de se concentrer sur l'expérience sans être déjà soumis à la difficulté résultant de la nouveauté de l'affichage.

Les affichages sont présentés aux sujets sous la forme de diapositives.

Les temps représentés sont compris entre 1.00 et 12.59. Pour les expériences I et II, un ensemble de 20 temps différents, choisis aléatoirement, a été créé. Pour l'expérience III, l'ensemble des stimuli est composé de 10 temps différents. Les trois expériences ont donc nécessité 30 stimuli différents par type d'affichage, sans compter la phase d'apprentissage qui a demandé encore 20 stimuli supplémentaires par type d'affichage.

Deux ensembles de temps de référence pour le mode de lecture relative ont été constitués : l'un pour la précision à la minute, l'autre pour la précision à cinq minutes.

Chaque ensemble est composé de 20 temps de référence. Les paires composées du temps affiché et du temps de référence restent constantes pour le déroulement total de l'expérience.

Expérience I

Situation expérimentale

Les 24 personnes du groupe A ont procédé à la lecture absolue des deux types d'affichages conventionnels; les 24 personnes du groupe B à la lecture relative de ces deux affichages. Les deux groupes ont effectué les lectures à la précision de une et cinq minutes.

Ainsi, quel que soit le groupe auquel il appartient, le sujet doit effectuer quatre types de lecture :

- 1) lecture de l'affichage numérique à la précision de 1 min.
- 2) lecture de l'affichage numérique à la précision de 5 min.
- 3) lecture de l'affichage analogique à la précision de 1 min.
- 4) lecture de l'affichage analogique à la précision de 5 min.

Pour équilibrer l'ordre dans lequel ces quatre types de lecture sont évalués, il est nécessaire de présenter aux sujets toutes les permutations possibles. Ces quatre séries de lectures donnent 24 permutations. Chacun des 24 sujets d'un groupe participe donc au test des affichages pour l'une de ces permutations.

Pour chaque type de lecture, le sujet doit lire une série de 10 temps choisis parmi l'ensemble des 20 temps et présentés dans un ordre aléatoire. Au total, il effectue 40 lectures de test.

Chaque série de test est précédée par une série d'apprentissage composée de cinq affichages.

Un exemple de programme de test soumis à un sujet est donné par la fig. 29.

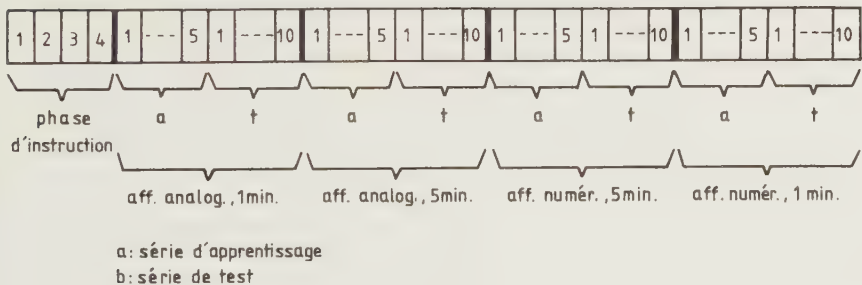


fig. 29

L'expérience est précédée par une phase d'instruction qui permet aux sujets de se familiariser avec le système de mesure; elle est composée de quatre affichages analogiques.

Lors de la série d'apprentissage, l'opérateur indique au sujet si la lecture est juste ou fausse. Si il y a une erreur, le même affichage est à nouveau exposé et l'erreur est discutée avec le sujet.

Pendant la série de test, les lectures ne sont plus corrigées.

Résultats

Les 48 personnes ont procédé à 1920 lectures de test, c'est-à-dire à 240 par type de lecture. Chaque type de lecture correspond à une des 8 cases des tab. 9 et 10.

Lors de chaque lecture, deux valeurs ont été relevées : le temps d'exposition individuelle et le temps de réaction verbale.

L'évaluation des résultats a été réalisée par une analyse de variance tridimensionnelle correspondant aux trois variables indépendantes : mode de lecture, précision et type d'affichage.

Le tab. 9 représente les résultats concernant le temps d'exposition individuelle. Les valeurs indiquées sont les moyennes et les écarts-type (entre parenthèses) donnés en sec. 10^{-2} .

	affichage analogique		affichage numérique	
	précis. 1 min	précis. 5 min	précis. 1 min	précis. 5 min
mode absolu	183 (96)	107 (58)	69 (34)	96 (47)
mode relatif	302 (150)	261 (161)	209 (169)	299 (225)

tab. 9

Le tab. 10 représente les moyennes et écarts-type ($\text{sec. } 10^{-2}$) des temps de réaction verbale.

	affichage analogique		affichage numérique	
	précis. 1 min	précis. 5 min	précis. 1 min	précis. 5 min
mode absolu	218 (75)	145 (41)	90 (25)	126 (37)
mode relatif	413 (124)	369 (151)	295 (142)	456 (176)

tab. 10

Le tab. 11 donne les niveaux de signification obtenus par l'analyse de variance pour le temps d'exposition individuelle

source	F	P
type d'affichage	23.86	.000
mode de lecture	18.90	.000
précision de lecture	0	p.s.
type d'affichage x mode de lecture	3.55	p.s.
type d'affichage x précision de lecture	62.64	.000
mode de lecture x précision de lecture	6.05	.018
type d'affichage x mode de lecture x précision de lecture	.99	p.s.

tab. 11

Remarque : Le facteur F résulte de l'analyse de variance. Il permet de déterminer la probabilité P de se tromper en rejetant l'hypothèse nulle selon laquelle un facteur n'a pas une influence dans l'expérience ou une interaction n'est pas significative. Par exemple, d'après le tab. 11, nous

pouvons rejeter l'hypothèse nulle selon laquelle il n'y a pas d'interaction entre le type d'affichage et la précision de lecture avec une probabilité $< .001$ de nous tromper.

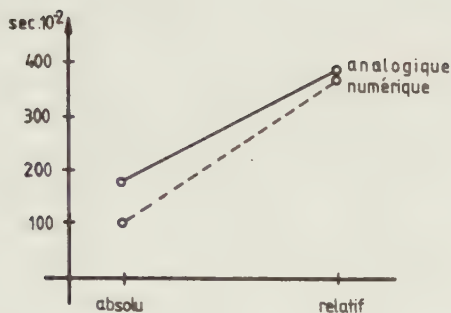
Le tab. 12 représente les niveaux de signification des différents facteurs pour le temps de réaction verbale.

source	F	P
type d'affichage	16.13	.000
mode de lecture	81.49	.000
précision de lecture	3.16	.000
type d'affichage x mode de lecture	6.81	.012
type d'affichage x précision de lecture	71.13	.000
mode de lecture x précision de lecture	11.68	.001
type d'affichage x mode de lecture x précision de lecture	6.50	.014

tab. 12

Comme il apparaît à travers l'analyse de variance, le facteur "type d'affichage" est significatif aussi bien pour le temps d'exposition que pour le temps de réaction verbale ($P < .001$).

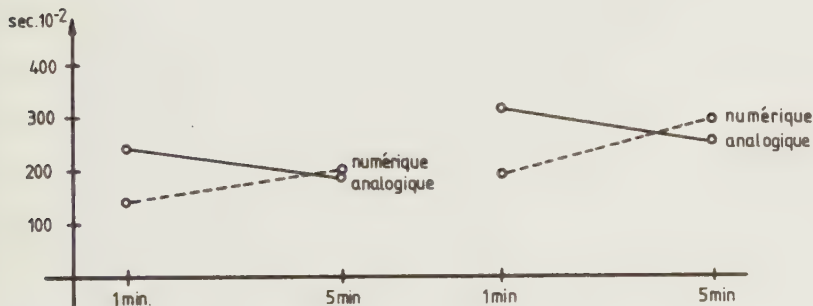
En considérant les deux variables que sont le type d'affichage et le mode de lecture, moyennées sur les deux niveaux de la précision de lecture, l'interaction est significative à .012 pour le temps de réaction verbale (voir fig. 30). Plus particulièrement, il faut remarquer que les deux types d'affichages se différencient pour la lecture absolue (test F pour les effets principaux simples. $F = 21.93$, $P < .001$). En revanche, dans le cas de la lecture relative, la différence n'est pas significative.



temps de réaction verbale

fig. 30

L'interaction entre le type d'affichage et la précision de lecture est significative à .001 aussi bien pour le temps d'exposition (fig. 31 a) que pour le temps de réaction verbale (fig. 31 b). Dans ces deux représentations, les temps proviennent de la moyenne des valeurs des deux modes de lecture.



a) temps d'exposition

b) temps de réaction verbale

fig. 31

L'affichage analogique nécessite un temps d'exposition et de réaction moins long pour la précision de cinq minutes que

pour la précision de une minute.

L'affichage numérique présente la caractéristique inverse. En analysant les effets principaux simples entre les deux types d'affichages, il apparaît que le temps de lecture (temps de réaction verbale et temps d'exposition) est plus court sur l'affichage numérique lorsque la lecture est précise (1 min.). Cette différence est significative à .001. En revanche, lorsque la lecture est approximative, la lecture est réalisée plus rapidement sur l'affichage analogique. Mais, seule la différence des temps de réaction verbale est significative (.05). La comparaison des temps de réaction moyens pour les lectures à 5 min. représentés par le tab. 10 fait apparaître que la signification statistique de cette différence provient de la lecture relative.

Sur le 960 lectures concernant l'affichage analogique, 90 (9,6%) contenaient des erreurs; dans le cas de l'affichage numérique, 39 (4,1%) sur 960 étaient erronées.

Le tab. 13 représente la distribution des erreurs (en pourcent) en fonction des variables indépendantes.

La valeur en pourcent est établie sur la base de 240 lectures.

	aff. analogique		aff. numérique	
	1 min	5 min	1 min	5 min
lec. absolue	13%	1%	1%	3%
lec. relative	10%	13%	2%	10%

tab. 13

Les erreurs ont été définies de la manière suivante :

- précision à une minute : une erreur est comptée si la réponse ne correspond pas exactement au temps affiché (lecture absolue) ou à la différence exacte entre le temps de référence et le temps affiché (lecture relative).
- précision à cinq minutes : une erreur est comptabilisée si la réponse ne correspond pas à un des deux multiples de cinq minutes entre lesquels se situe le temps affiché exact (lecture absolue) ou la différence exacte (lecture relative).

Expérience II

Situation expérimentale

Les 24 personnes du groupe A ont procédé à la lecture absolue des trois affichages de conception nouvelle alors que les 24 personnes du groupe B ont effectué les lectures relatives. Chaque groupe a été divisé en trois sous-groupes qui ont participé chacun au test d'un seul type d'affichage. Chaque sujet a effectué des lectures pour les deux précisions (1 et 5 min.).

Afin d'équilibrer l'ordre de présentation en fonction de la précision de lecture, dans chaque sous-groupe, quatre sujets commencent avec la précision à une minute et les quatre autres avec la précision à cinq minutes.

Pour chacune des deux précisions de lecture, une série de test de 10 diapositives, choisies dans l'ensemble des 20 temps et présentées dans un ordre aléatoire, est soumise au sujet; ce qui lui fait 20 lectures de test.

Chaque série de test est précédée par une phase d'apprentissage composée de 20 stimuli : 10 lectures à la précision de cinq minutes et 10 lectures à la précision de une minute.

Un exemple du déroulement du test pour un sujet est présenté par la fig. 32.

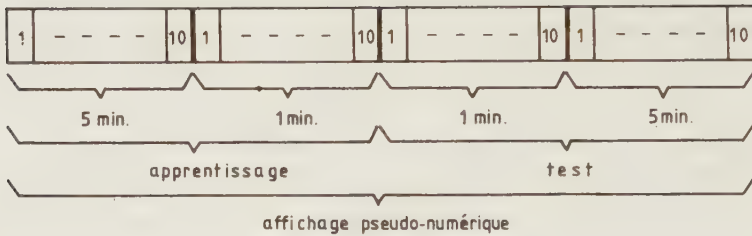


fig. 32

Le déroulement des séries d'apprentissage et des séries de test est identique à celui de l'expérience I : l'opérateur discute des erreurs avec le sujet uniquement pendant la phase d'apprentissage.

Résultats

Pour chaque type de lecture correspondant à une des 12 cases des tab. 14 et 15, 80 lectures ont été effectuées; elles ont permis de relever le temps d'exposition individuelle et le temps de réaction verbale.

L'évaluation des résultats a été réalisée par une analyse de variance tridimensionnelle correspondant aux variables indépendantes (mode de lecture, précision et type d'affichage).

Le tab. 14 représente les valeurs moyennes et les écarts-type (entre parenthèses) des temps d'exposition individuelle (sec. 10^{-2}).

	aff. ps.-analogique		aff. ps.-numérique		aff. num. signe -	
	pr.1 min	pr.5 min	pr.1 min	pr.5 min	pr.1 min	pr.5 min
mode	428	205	85	100	55	74
absolu	(188)	(106)	(32)	(44)	(21)	(30)
mode	655	470	205	277	242	304
relatif	(459)	(365)	(153)	(175)	(133)	(196)

tab. 14

Le tab. 15 représente les valeurs moyennes et les écarts-type des temps de réaction verbale (sec. 10^{-2}).

	aff. ps.-analogique		aff. ps.-numérique		aff. num. signe -	
	pr.1 min	pr.5 min	pr.1 min	pr.5 min	pr.1 min	pr.5 min
mode	471	239	88	104	128	147
absolu	(141)	(78)	(30)	(33)	(34)	(23)
mode	854	619	289	396	346	400
relatif	(463)	(351)	(140)	(155)	(108)	(132)

tab. 15

Le tab. 16 donne les niveaux de signification de la variable temps d'exposition obtenus par l'analyse de variance.

source	F	P
type d'affichage	10.21	.000
mode de lecture	12.57	.000
précision de lecture	5.58	.023
type d'affichage x mode de lecture	.25	p.s.
type d'affichage x précision de lecture	23.43	.000
mode de lecture x précision de lecture	1.86	p.s.
type d'affichage x mode de lecture x précision de lecture	.03	p.s.

tab. 16

L'analyse de variance du temps de réaction est représenté par le tab. 17.

source	F	P
type d'affichage	15.81	.000
mode de lecture	30.57	.000
précision de lecture	5.75	.021
type d'affichage x mode de lecture	.82	p.s.
type d'affichage x précision de lecture	25.01	.000
mode de lecture x précision de lecture	1.18	p.s.
type d'affichage x mode de lecture x précision de lecture	.52	p.s.

tab. 17

Le facteur relatif au type d'affichage est significatif à .001 aussi bien pour le temps d'exposition que pour le temps de réaction verbale.

Ce résultat provient du fait que l'affichage pseudo-analogique présente des performances nettement inférieures aux deux autres (affichages pseudo-numérique et numérique avec signe moins) qui ne se distinguent pas l'un de l'autre.

L'interaction entre le type d'affichage et la précision de lecture est significative à .001 aussi bien pour le temps d'exposition (fig. 33a) que pour le temps de réaction (fig. 33b). Ces deux temps sont calculés avec la moyenne des valeurs des deux modes de lecture.

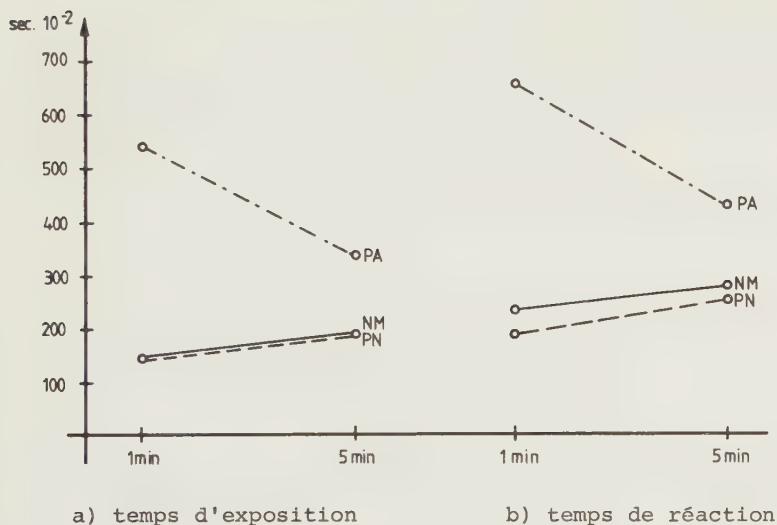


fig. 33

PA : ps.-analogique PN : ps.-numérique NM : num. signe -

Les temps d'exposition et de réaction concernant l'affichage pseudo-analogique sont plus courts à cinq minutes qu'à une minute. Ces différences sont significatives à .001.

C'est un effet inverse que nous rencontrons avec les affichages pseudo-numérique et numérique avec signe moins : les performances sont meilleures à une minute qu'à cinq minutes. Mais le test F ne donne aucune différence significative.

Le tab. 18 représente le pourcentage d'erreurs pour chaque condition de lecture; il se réfère à 80 lectures.

Les erreurs ont été définies par la méthode décrite pour l'expérience I.

	aff.ps.-analogique		aff.ps.-numérique		aff.num. signe -	
	1 min	5 min	1 min	5 min	1 min	5 min
lec. absolue	20%	5%	1%	1%	3%	6%
lec. relative	36%	13%	3%	13%	16%	14%

tab. 18

Expérience III

Situation expérimentale

Les 12 premiers sujets du groupe A ont procédé au test de la lecture dichotomique de l'affichage analogique, les 12 derniers à la lecture de l'affichage numérique.

Les 24 mêmes sujets ont été répartis en trois sous-groupes de 8 personnes. Chaque sous-groupe a participé au test de l'affichage de conception nouvelle qui lui a été présenté lors de l'expérience II.

Chaque sujet a procédé à la lecture de deux séries de test de 10 diapositives choisies parmi un ensemble de 20 unités. Ces deux séries correspondent aux deux différents affichages (un affichage conventionnel et un affichage nouveau);

elles sont précédées par deux séries d'apprentissage de 10 diapositives chacune. Un exemple de programme de test soumis à un sujet est présenté par la fig. 34.

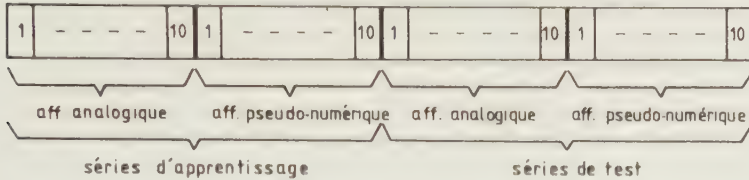


fig. 34

Résultats

L'ensemble des sujets a réalisé 120 lectures de test pour chaque affichage conventionnel et 80 lectures pour chaque affichage de conception nouvelle.

Lors de chaque lecture, le temps d'exposition individuelle et le temps de réaction verbale ont été mesurés.

Le tab. 19 représente la moyenne des valeurs obtenues et les écarts-type (entre parenthèses) en sec. 10^{-2} pour les deux affichages conventionnels.

	aff. analogique	aff. numérique
temps d'exposition	61 (25)	62 (29)
temps de réaction	102 (21)	101 (22)

tab. 19

Une analyse des moyennes des deux temps ne donne aucun résultat significatif.

Le tab. 20 représente la moyenne des valeurs obtenues et les écarts-type ($\text{sec. } 10^{-2}$) pour les trois nouveaux affichages.

	aff. ps.-analog.	aff. ps.-num.	aff. num. signe -
temps d'exposition	109 (47)	69 (27)	53 (22)
temps de réaction	140 (41)	89 (17)	133 (22)

tab. 20

L'analyse de variance simple donne un niveau de signification égal à .01 pour le temps d'exposition et un niveau égal à .004 pour le temps de réaction quand le type d'affichage (affichages nouveaux) est considéré comme facteur.

En analysant les moyennes du tab. 20 pour les paires d'affichages, nous obtenons les résultats suivants :

temps d'exposition individuelle : les différences des moyennes entre l'affichage pseudo-analogique et les deux autres types sont significatives à .05.

Les affichages pseudo-numérique et numérique avec signe moins ne se distinguent pas significativement.

temps de réaction verbale : l'affichage pseudo-numérique se différencie significativement (.05) des deux autres affichages. En revanche, l'affichage pseudo-analogique et l'affichage numérique avec signe moins ne présentent pas de différence significative.

Sur le total de 480 lectures réalisées dans le cadre de cette expérience, 10 erreurs ont été relevées; elles se répartissent de la façon suivante (tab. 21) :

analogique	numérique	ps.-anal.	ps.-num.	numérique signe -
0 (0%)	0 (0%)	5 (6%)	0 (0%)	5 (6%)

tab. 21

Les résultats en pourcent sont calculés par rapport au nombre total de lectures effectuées pour le type d'affichage (affichages conventionnels : 120 lectures; affichages nouveaux : 80 lectures).

3.3.2 Apprentissage

Dans le chapitre 3.2.3 consacré à la méthodologie du processus global du traitement de l'information, nous avons établi une démarche qui consiste à déterminer la courbe d'apprentissage avec les valeurs obtenues lors de la phase d'apprentissage et lors de la phase de test (fig. 6 p. 68). Pour obtenir une bonne approximation de la courbe, il est nécessaire que la dispersion des points expérimentaux soit faible.

Les valeurs des temps d'exposition individuelle et de réaction verbale obtenues pendant la phase d'apprentissage sont trop dispersées pour qu'elles puissent être utilisées.

Il reste à disposition uniquement les 10 valeurs des 10 essais de la phase de test. Ce nombre est insuffisant pour prétendre déterminer avec exactitude les paramètres de la courbe. Ces valeurs permettent cependant de calculer une régression linéaire qui définit la pente de la courbe dans le domaine correspondant aux 10 valeurs de test.

Cette évaluation ne nous permet qu'un jugement qualitatif. Si la pente est faible, l'affichage est assimilé et les valeurs mesurées sont proches de T_0 . En revanche, si la pente est forte, les sujets se trouvent encore en pleine phase d'apprentissage. T_0 ne peut pas être déterminé, mais il est permis de supposer que, si les essais étaient poursuivis, les temps de lecture diminueraient.

Pour des raisons de simplification, nous nous sommes limités au temps de réaction verbale.

En conséquence, pour chaque type d'affichage, les 10 valeurs qui correspondent aux 10 lectures de la série de test

(1^{er} au 10^{ème} essai) ont été relevées.

La valeur du n^{ème} essai est obtenue en calculant la moyenne des temps de réaction verbale des lectures réalisées par les différents sujets à leur n^{ème} essai.

A des fins statistiques, deux types de lecture différents ont été réunis pour cette évaluation : la lecture absolue à une et à cinq minutes.

La pente de la courbe est calculée avec la moyenne des valeurs relevées pour chacune de ces deux lectures.

Les lectures en mode relatif n'ont pas été prises en considération car l'écart-type relevé dans cette situation est trop grand (voir tab. 10, p. 131 et tab. 15, p. 137).

Par exemple, pour calculer la moyenne des temps de réaction du 1^{er} essai de lecture de l'affichage analogique, nous avons à disposition 48 valeurs : 24 sujets ont participé à la lecture absolue à une minute de l'affichage analogique; les mêmes 24 sujets ont également été soumis à la série de test pour la précision de cinq minutes.

Pour les affichages analogique et numérique, chaque moyenne est calculée avec 48 valeurs. Dans le cas des affichages de conception nouvelle, 16 valeurs donnent la moyenne.

Cette évaluation de l'apprentissage ne nous permet pas d'obtenir des résultats précis et définitifs. Cependant, elle est utile pour différencier les affichages assimilés de ceux qui ne le sont pas encore.

Résultats

Affichage analogique

Les 10 moyennes et la droite de régression sont données par la fig. 35.

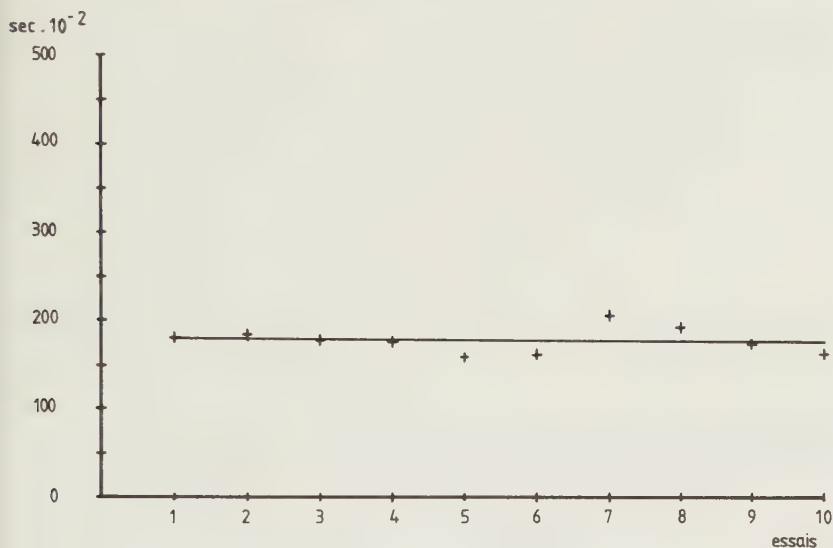


fig. 35

L'équation de la droite obtenue est :

$$Y = -0,46 x + 180,10$$

Pente : $a = -0,46$

Erreur standard sur y : $\sigma_y = 15,59$

Erreur standard sur la pente : $\sigma_a = 1,71$

Affichage numérique

Les 10 valeurs moyennes et la droite de régression sont représentées par la fig. 36.

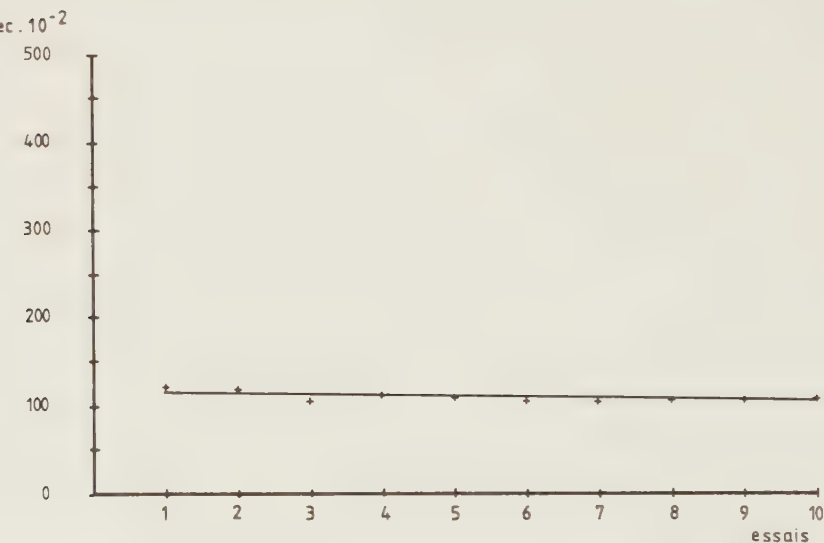


fig. 36

L'équation de la droite est :

$$y = -1,48 x + 116,47$$

Pente : $a = -1,48$

Erreur standard sur y : $\sigma_y = 4,68$

Erreur standard sur la pente : $\sigma_a = 0,51$

Affichage pseudo-analogique

Les 10 moyennes et la droite de régression sont représentées par la fig. 37.

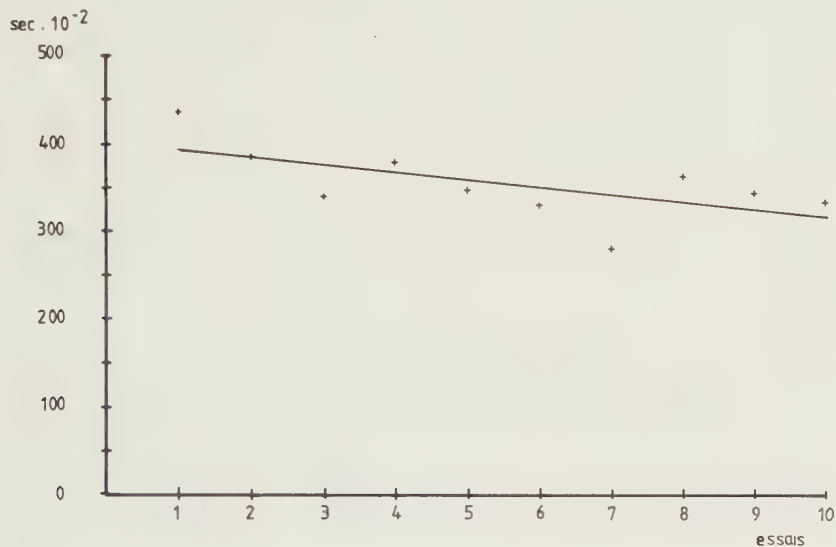


fig. 37

L'équation de la droite est :

$$y = -8,36 x + 400,78$$

Pente : $a = -8,36$

Erreur standard sur y : $\sigma_y = 33,99$

Erreur standard sur la pente : $\sigma_a = 3,74$

Affichage pseudo-numérique

Les 10 moyennes et la droite de régression sont représentées par la fig. 38.

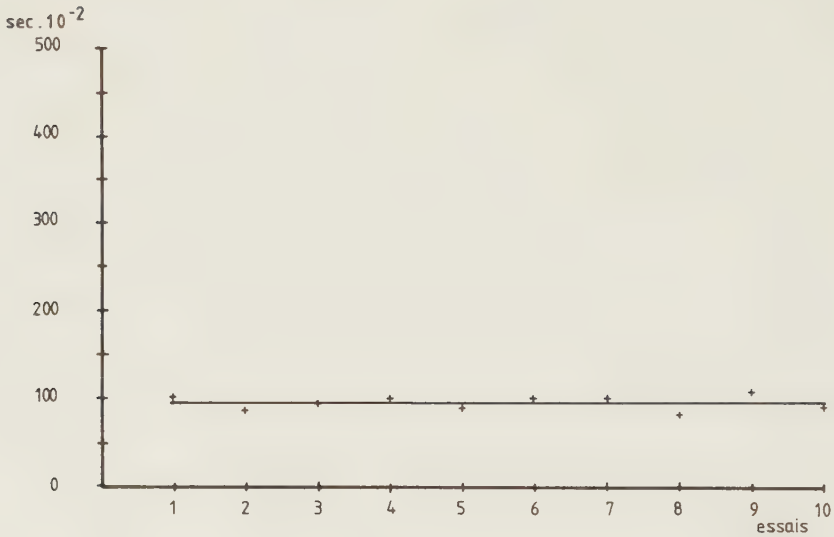


fig. 38

L'équation de la droite est :

$$y = 0,23 x + 94,90$$

Pente : $a = 0,23$

Erreur standard sur y : $\sigma_y = 8,58$

Erreur standard sur la pente : $\sigma_a = 0,94$

Affichage numérique avec signe moins

La fig. 39 représente les 10 valeurs moyennes et la droite de régression.

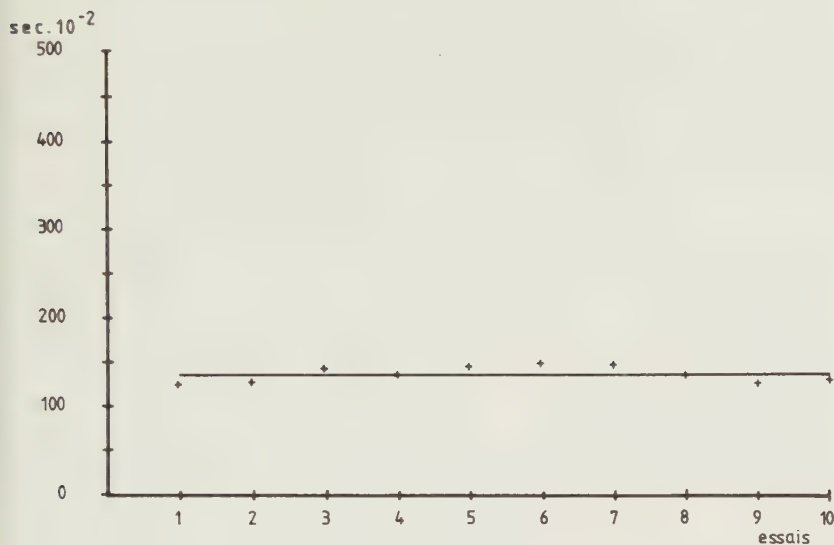


fig. 39

L'équation de la droite est :

$$y = 0,36 x + 135,24$$

Pente : $a = 0,36$

Erreur standard sur y : $\sigma_y = 9,60$

Erreur standard sur la pente : $\sigma_a = 1,06$

Comparaison des cinq affichages

Connaissant la valeur a de la pente et l'erreur standard σ_a , il est possible de déterminer l'intervalle d'erreur dans lequel la vraie valeur a^* de la pente a une probabilité de .68 de se trouver. Les bornes de cet intervalle sont $a - \sigma_a$ et $a + \sigma_a$ ($a - \sigma_a < a^* < a + \sigma_a$).

Le tab. 22 représente l'intervalle d'erreur pour chaque type d'affichage.

type d'affichage	intervalle d'erreur	
	borne inf. ($a - \sigma_a$)	borne sup. ($a + \sigma_a$)
analogique	- 2,22	1,25
numérique	- 1,99	-0,97
pseudo-analogique	-12,10	-4,62
pseudo-numérique	- 0,71	1,17
numérique signe moins	- 0,70	1,42

tab. 22

L'affichage pseudo-analogique présente une droite de pente négative; elle est la plus forte des cinq affichages. Les pentes des quatre autres types d'affichages sont faibles. Pour trois d'entre eux (affichages analogique, pseudo-numérique et numérique avec signe moins), l'intervalle à .68 est à cheval sur le zéro.

4.3.3.3 Discussion

Les affichages conventionnels et les affichages nouveaux ont été évalués, pour les modes de lecture absolu et relatif, dans deux expériences distinctes. La séparation de l'évaluation en deux expériences a permis de mieux structurer les tests et de différencier les phases d'apprentissage. Par conséquent il n'est pas possible de procéder à une comparaison quantita-

tive des cinq types d'affichages.

Sur la base d'éléments quantitatifs suffisamment caractéristiques, nous nous contentons d'exprimer des appréciations qualitatives.

Dans le but de comparer les cinq types d'affichages, les temps de lecture relevés sont reportés sur les fig. 40 et 41. La fig. 40 représente les temps d'exposition individuelle et de réaction verbale en fonction de la précision de lecture; la fig. 41 représente ces deux temps en fonction du mode de lecture.

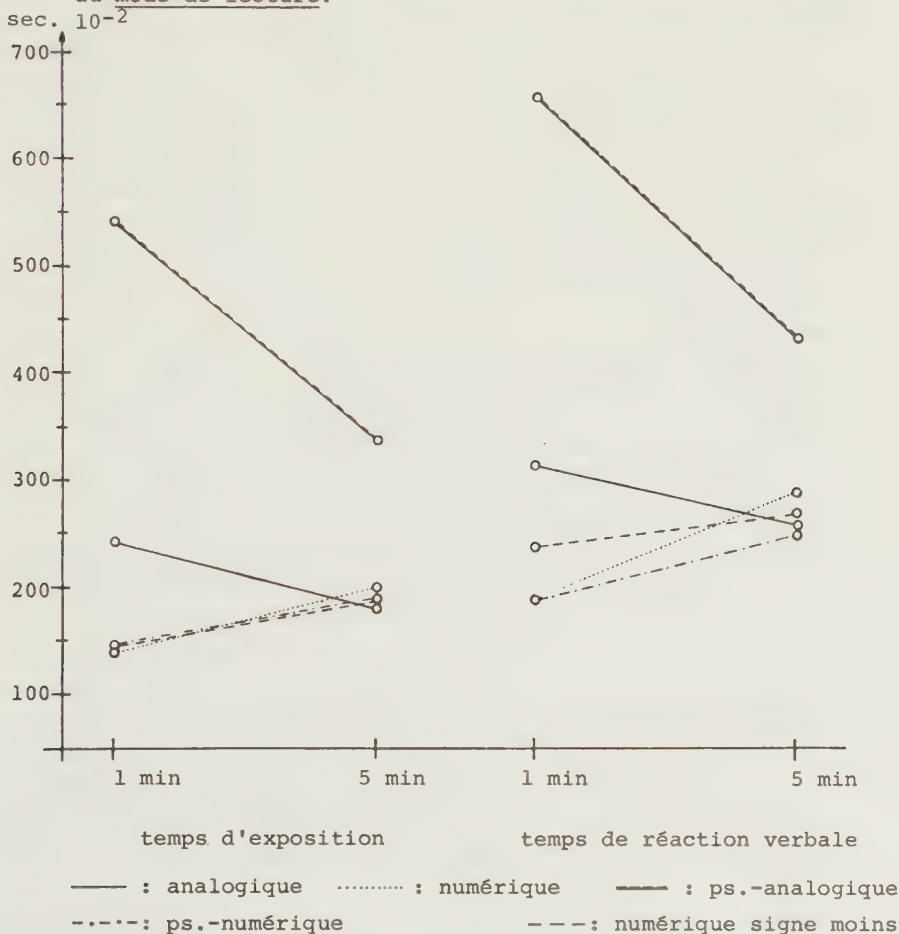


fig. 40

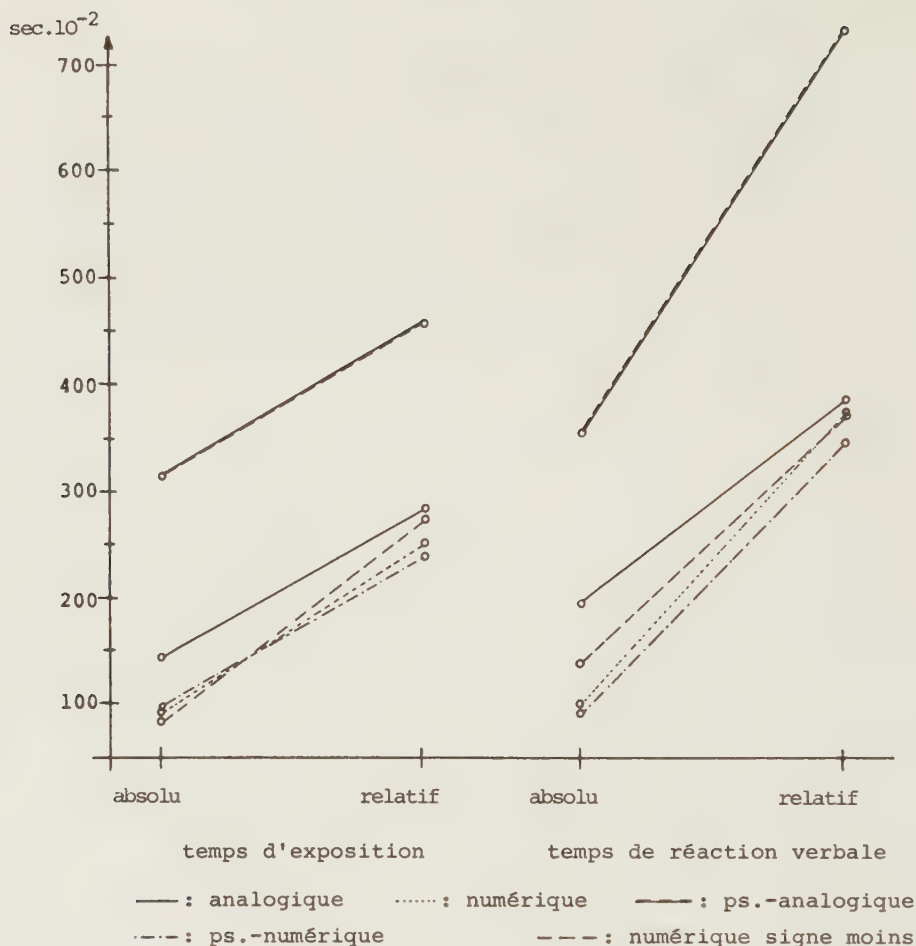


fig. 41

Les résultats obtenus et leur validation statistique permettent de relever que la précision de lecture est un facteur essentiel dans la détermination des caractéristiques des différents affichages. En effet, les deux affichages du type analogique (analogique et pseudo-analogique) sont mieux adaptés pour les lectures approximatives (à 5 min.) que pour les lectures précises (à 1 min.). Les trois autres affichages présentent une caractéristique inverse : ils ont

de meilleures performances lorsque les lectures sont précises.

En fonction du mode de lecture, les cinq affichages ont la même caractéristique : la lecture relative est moins rapide que la lecture absolue.

Plus particulièrement, la comparaison des résultats pour les différents types de lecture permet de mettre en évidence que :

- les lectures précises sont effectuées plus rapidement et avec moins d'erreurs sur l'affichage numérique que sur l'affichage analogique
- l'affichage analogique est préférable à l'affichage numérique pour les lectures approximatives. La différence des résultats n'est cependant statistiquement significative que pour le temps de réaction verbale
- l'affichage numérique offre de meilleures qualités de lisibilité pour les lectures absolues. Cette supériorité sur l'affichage analogique n'est toutefois significative que pour le temps de réaction verbale
- dans le cas de la lecture relative, les deux affichages conventionnels ne se différencient pas
- la lecture dichotomique n'est pas un facteur discriminatoire pour l'évaluation des deux affichages conventionnels
- l'affichage pseudo-numérique détient les meilleures performances de rapidité de lecture des trois affichages nouveaux. Cependant, statistiquement, les résultats permettent de le différencier de l'affichage numérique avec signe moins uniquement pour la lecture dichotomique
- pour la lecture relative précise (1 min.), l'affichage numérique avec signe moins provoque un plus grand nombre d'erreurs que l'affichage pseudo-numérique
- l'affichage pseudo-analogique se détache nettement, avec ses mauvaises performances, de tous les autres affichages

Sur la base de la méthode exposée au chap. 3.2.3, il est possible de calculer les temps de réaction moyens partiels

et l'erreur relative moyenne partielle pour chaque type d'affichage.

Nous rappelons que le temps de réaction moyen partiel est défini par :

$$\bar{t} = \frac{1}{f} (f_{a1} \cdot \hat{t}_{a1} + f_{a5} \cdot \hat{t}_{a5} + f_{r1} \cdot \hat{t}_{r1} + f_{r5} \cdot \hat{t}_{r5} + f_d \cdot \hat{t}_d)$$

et l'erreur moyenne partielle par :

$$\bar{e} = \frac{1}{f} (f_{a1} \cdot \hat{e}_{a1} + f_{a5} \cdot \hat{e}_{a5} + f_{r1} \cdot \hat{e}_{r1} + f_{r5} \cdot \hat{e}_{r5} + f_d \cdot \hat{e}_d)$$

Les fréquences f_{ij} et f proviennent des résultats obtenus dans l'étude de la lecture de l'heure dans la réalité (chap. 4.2).

Les valeurs moyennes partielles du temps d'exposition individuelle, du temps de réaction verbale et de l'erreur relative sont représentées par le tab. 23.

type d'aff.	temps d'exposition (sec. 10^{-2})	temps de réac. verb. (sec. 10^{-2})	erreurs relatives
analogique	185	265	6
numérique	177	268	4
ps.-anal.	358	467	14
ps.-num.	172	241	5
num. signe -	182	272	10

tab. 23

Ces valeurs moyennes permettent d'attribuer une note à chaque type d'affichage. Cette note est calculée sur la base des résultats obtenus en laboratoire et de l'étude de la lecture de l'heure dans la réalité. Elle prend en considération 79% des lectures rencontrées dans la réalité.

La comparaison des notes obtenues permet de relever la mauvaise performance de l'affichage pseudo-analogique. Ceci est manifeste aussi bien pour les temps de lecture que pour l'erreur relative.

Les quatre autres affichages présentent des performances comparables. Il faut toutefois relever l'avantage sensible de

l'affichage pseudo-numérique.

Les pentes de la courbe d'apprentissage pour le temps de réaction verbale et le mode de lecture absolue qui ont été calculées permettent d'affirmer que deux des affichages nouveaux, c'est-à-dire les affichages pseudo-numérique et numérique avec signe moins, peuvent être considérés comme assimilés. En revanche, le troisième affichage nouveau qui est l'affichage pseudo-analogique présente une pente négative. Cela signifie que, lors de la série de test, les sujets se trouvaient encore en phase d'apprentissage. Il est donc probable que, si l'entraînement était prolongé, les performances obtenues avec l'affichage pseudo-analogique seraient améliorées. Avec les données dont nous disposons, il n'est pas possible de déterminer l'asymptote de la courbe exponentielle d'apprentissage. Elle permettrait de trouver le temps de réaction verbale moyen lorsque cet affichage aurait été assimilé.

La légère pente négative relevée lors de l'évaluation des deux affichages conventionnels pourrait être expliquée par la structuration de l'expérience. Le test de ces deux affichages a toujours été effectué avant le test des affichages nouveaux. Il se peut que, lors du test de ces deux affichages, les sujets ne soient pas encore habitués au système d'expérimentation. Il faut encore ajouter que la série d'apprentissage des affichages conventionnels est composée de cinq diapositives, celle des affichages nouveaux de dix diapositives.

4.4 Analyse de la préférence pour les différents affichages

Le questionnaire qui a été établi pour analyser la préférence de l'utilisateur pour les différents affichages (analogique et numérique) en fonction des utilisations (fonctionnelles, socio-esthétiques et affectives) est composé de trois groupes de questions en relation avec (chap. 3.3) :

- le nombre de montres que possède la population interrogée et caractéristiques concernant le port de cet instrument (questions 1 à 6)
- les différents genres d'utilisation de la montre en général et les valeurs qui leur sont attribuées (questions 7 à 12)
- l'étude des associations existant entre le type d'affichage et les différents genres d'utilisation (questions 13 à 22)

Afin de faciliter la lecture du texte, seuls les commentaires pour chaque réponse du questionnaire et les résultats essentiels sont réunis dans ce chapitre. Ils sont structurés en fonction des trois groupes de questions.

La description de l'échantillon de la population interrogée et le détail des réponses se trouvent dans l'annexe.

Les questions 1 à 6 occupent les pages 219 à 223

les questions 7 à 12 occupent les pages 223 à 228

les questions 13 à 22 occupent les pages 228 à 238

4.4.1 Nombre de montres que possède la population interrogée et caractéristiques concernant le port de cet instrument

Il s'avère que les sujets que nous avons interrogés possèdent en moyenne trois montres individuelles (question 1) dont deux sont en état de marche (question 2). Ils utilisent effectivement une seule montre (question 3).

Il est intéressant de comparer le résultat de la question 2 avec une enquête qui a été réalisée en Suisse en 1968 (Le Coultre et Beuchat, 1968, p. 763) :

	résultats obtenus en 1968	résultats obtenus en 1978
	pop. = 1000 (100%)	pop. = 130 (100%)
pas de montre	9 %	4 %
1 montre	59 %	38 %
2 montres	25 %	28 %
3 montres et plus	7 %	30 %

Il apparaît qu'en 1978, les personnes possèdent plus de montres en état de marche qu'en 1968. Deux explications sont possibles. Cette évolution est peut-être due au fait que la montre est devenue un objet plus accessible économiquement. Cette différence provient peut-être d'une fluctuation de l'échantillon : notre population est moins représentative que celle utilisée pour l'enquête de 1968.

Parmi la population interrogée, 83% des sujets portent toujours ou souvent une montre (question 4). Les personnes qui déclarent porter occasionnellement ou ne porter jamais une montre (15%) invoquent trois raisons principales :

- l'inutilité de la montre (35% des personnes qui portent occasionnellement ou jamais une montre)
- l'environnement qui détériore la montre; par exemple lieu de travail (30%)
- le port de la montre est désagréable (30%)

Il faut relever que près de la moitié des personnes qui ont donné la raison de l'inutilité ajoutent que le nombre d'horloges publiques est suffisant pour s'abstenir de porter une montre personnelle. Ces personnes résident toutes dans le canton de Neuchâtel qui est très fortement doté d'horloges publiques.

L'âge moyen auquel a été reçue la première montre est 12 ans (question 5). Les jeunes (15 à 24 ans) ont reçu leur première montre en moyenne à 10,5 ans alors que les personnes âgées de 40 à 65 ans l'ont reçue en moyenne à 14 ans. Cette diffé-

rence est statistiquement significative. Le fait de recevoir une montre était, il y a quelques années, lié à certaines fêtes religieuses qui avaient lieu vers 15 ans. Actuellement, la montre est remise aux enfants lors des premières années de scolarité.

La majorité des personnes interrogées (84%) se séparent de leur montre à certaines occasions (question 6) qui sont principalement le moment du bain (situation évoquée par 83% des personnes qui se séparent de leur montre) et la nuit (situation évoquée par 41%).

En considérant uniquement les moments de détente (loisirs, week-end, vacances), nous constatons que seulement 26% des personnes ne portent pas leur montre pendant ces moments. Par conséquent, les personnes se séparent de leur montre en général lorsqu'il y a nécessité. En effet, le bain peut détériorer la montre; pendant la nuit, elle peut être gênante.

4.4.2 Les différents genres d'utilisation et les valeurs qui leur sont attribuées

Lors de la question 7 (la montre c'est...), 48% des personnes qui ont répondu complètent la phrase avec des termes en relation avec l'utilité; 28% avec des termes ayant trait à la nécessité. Ces deux aspects ne sont d'ailleurs pas disjoints: la nécessité n'est qu'une définition plus forte de l'utilité. Les attributs exprimés renferment souvent des valeurs négatives : la montre représente un instrument qui fait prendre conscience de l'écoulement du temps et nous rappelle à la réalité. Elle nous démontre notre impuissance à arrêter le temps.

La montre est aussi assimilée à un objet qui reflète les contraintes de temps de notre société et notre asservissement. Certaines personnes vont jusqu'à comparer la montre à un instrument de torture.

Dans notre société, la montre n'est pas considérée comme un objet de mode (1% des réponses sont en relation avec la mode). Cela ne signifie pas pour autant que dans une autre population la même considération pourrait être faite. En effet, dans d'autres sociétés, la montre est sujette à la mode : elle doit être grosse ou être plaquée or.

L'utilisation fonctionnelle de la montre est confirmée par la question 8; 62% des personnes affirment être incommodées si elles ont oublié leur montre. La raison principale qui est invoquée est la perte de la notion du temps (40% des personnes qui sont incommodées). La seconde raison met en évidence l'utilisation affective de la montre (23% des personnes incommodées) : la montre fait partie de soi. Si on l'a oubliée, on sent qu'il manque quelque chose. Quelques personnes affirment même se sentir nues. L'utilisation affective a été relevée indirectement par la question 6 qui a mis en évidence que les personnes ne se séparent pas volontiers de leur montre lorsqu'il n'y a pas une nécessité.

Peu de réponses (2%) à la question 7 renferment des valeurs affectives. Ce résultat n'est pas en contradiction avec les réponses à la question 8 : une question ouverte ne permet pas au sujet d'évoquer tous les éléments qui caractérisent la montre, mais seulement les traits les plus saillants et les plus aisés à exprimer.

L'aspect contraignant associé à la montre apparaît à nouveau avec les questions 11 et 12.

Lorsqu'elles lisent l'heure, 68% des personnes affirment qu'il y a des moments où leur activité est accélérée (question 11). La montre a donc parfois ou souvent un effet d'excitant sur l'être humain.

Lorsque le temps semble long, 76% des personnes prétendent qu'elles regardent l'heure plus souvent (question 12). Dans cette situation, le sujet ressent une frustration. En effet, l'attente d'un événement provoque une situation de conflit chez l'être humain : l'anticipation de ce qui suivra est importante et le temps paraît long (Fraisie dans Piaget et

al., 1967, p. 86). Comme la montre est très fréquemment utilisée dans cette situation et qu'elle met en évidence le temps qui s'écoule trop lentement, des valeurs fonctionnelles négatives lui sont attribuées.

Plus de 80% des personnes interrogées (question 9) affirment remarquer, parfois ou souvent, la montre des personnes qu'elles rencontrent.

L'analyse de contenu de la deuxième partie de la réponse (donner les caractéristiques d'une montre que vous avez vue) démontre que les hommes sont aussi sensibles que les femmes à l'esthétique en général. En effet, 70% des hommes et 79% des femmes qui ont répondu évoquent des aspects relatifs à l'esthétique.

En revanche, une différence essentielle se situe au niveau de l'observation de la couleur du cadran ou de la boîte; les femmes (32% des femmes qui ont répondu) sont beaucoup plus sensibles à ce point que les hommes (6% des hommes qui ont répondu).

Les hommes (26% des hommes qui ont répondu) expriment plus souvent que les femmes (5% des femmes qui ont répondu) des fonctions (chronographes, calculatrices, etc.) qu'ils ont remarquées.

La majorité des personnes interrogées (75%) affirment que la représentation de l'information de la seconde n'est pas nécessaire (question 10). Ce résultat est en parfait accord avec l'étude de la lecture de l'heure dans la réalité (chap. 4.2) qui révèle que 1,3% des lectures nécessitent une précision à la seconde.

En résumé, la montre est utilisée principalement dans un but fonctionnel. A cette utilisation sont associées des valeurs négatives; la montre met en évidence les aspects contraignants du temps et de notre société.

Les utilisations secondaires de la montre sont d'ordre esthétique et affectif. Aucune valeur négative n'est associée à ces deux genres d'utilisation.

4.4.3 Etude des associations existant entre le type d'affichage et les différents genres d'utilisation

L'avantage principal de la montre analogique est la lisibilité; il a été évoqué par 58% des personnes interrogées (question 13). Plusieurs personnes (10%) précisent que cet avantage est remarqué lors des lectures relatives.

La lecture relative la plus fréquemment rencontrée dans la réalité (chap. 4.2) est la lecture relative approximative (à 5 min.). D'après les résultats que nous avons obtenus en laboratoire (chap. 4.3.3.1), la lecture relative est plus rapidement exécutée sur l'affichage analogique que sur l'affichage numérique. En conséquence, si les personnes interrogées se réfèrent à la lecture relative approximative, l'impression qu'elles évoquent correspond aux résultats de laboratoire. En revanche, si la lecture relative à laquelle elles se réfèrent est à considérer comme une lecture relative générale sans indiquer si il s'agit d'une lecture précise ou approximative, cette impression ne peut être vérifiée par l'évaluation réalisée en laboratoire.

La moitié des personnes interrogées ne voient aucun avantage dans la montre à affichage numérique (question 14). Les principaux avantages relevés par l'autre moitié de la population sont en relation avec la précision de la base de temps (24% de la population globale) et la lisibilité (12% de la population globale). Dans ce cas, quelques réponses révèlent que cette bonne lisibilité est remarquée dans les situations qui nécessitent une lecture précise. Ces réponses intuitives sont en parfait accord avec les résultats obtenus en laboratoire (chap. 4.3.3.1).

Les trois quarts de la population portent une montre à affichage analogique; 10% une montre numérique; 5% porte les deux types de montres (question 15). Dans cette dernière sous-population, les personnes qui portent plus souvent une montre numérique révèlent que c'est pour la précision de lecture offerte qui est nécessaire dans leur profession.

La majorité de la population (70%) estime que la montre numérique est moins esthétique que la montre analogique (question 18). La sous-population qui a une attitude inverse est composée uniquement d'hommes.

En conséquence, la montre numérique plaît encore moins aux femmes qu'aux hommes.

La majorité de la population qui ne porte qu'une montre à affichage analogique n'aimerait pas (81% des réponses à la question 17) ou n'achèterait pas (83% des réponses à la question 18) une montre numérique.

Les raisons qu'elle a données sont (question 17):

- la mauvaise lisibilité (30% des personnes qui n'aimeraient pas une montre numérique)
- la manipulation peu pratique des boutons-poussoir (20%)
- le manque d'esthétique (22%)

Quelques personnes pensent qu'il est difficile de lire l'heure sur la montre numérique car il est nécessaire de savoir bien calculer. Ces personnes pensent à la lecture relative qui nécessite une soustraction mentale. La commande par boutons-poussoir est très mal ressentie; elle apparaît comme une intellecttualisation de la montre en ce qu'elle demande un modèle d'utilisation.

Le choix qu'effectueraient les personnes qui utilisent une montre analogique se porterait à nouveau sur ce même type de montre (83% des réponses à la question 19). La montre analogique mécanique a les mêmes chances d'être choisie (35%) que la montre analogique électronique (38%).

La montre analogique mécanique est choisie pour deux raisons principales :

- l'habitude (raison invoquée par 41% des personnes qui choisiraient ce type de montre)
- la solidité (30%)

La préférence pour ce type de montre est plus forte chez les personnes qui exercent une profession manuelle (50% de cette population achèterait une montre analogique mécanique)

que dans le reste de la population (27% du reste de la population achèterait ce type de montre).

La montre analogique électronique est choisie pour deux raisons principales :

- la précision de marche (raison invoquée par 33% des personnes qui choisiraient ce type de montre)
- la simplicité d'utilisation (31%) : il ne faut pas la remonter et la remise à l'heure est simple.

La préférence pour ce type de montre est plus forte chez les ménagères (65% de cette population achèterait une montre analogique électronique) que dans le reste de la population (32%). Ce résultat est intéressant car il était inattendu.

La raison invoquée par les ménagères est liée à l'entretien : il n'est pas nécessaire de la remonter. Le questionnaire ne nous permet pas d'aller plus en profondeur et de trouver d'autres raisons à ce choix.

Les quelques personnes portant une montre analogique qui sont favorables à la montre numérique (9% des personnes portant une montre analogique) donnent la raison principale suivante :

- la nouveauté (plus de la moitié des raisons invoquées par les 9 personnes qui choisiraient une montre numérique).

Parmi les personnes qui portent une montre numérique¹⁾, 41% pensent qu'elle est plus utile que la montre analogique (question 16). Les raisons sont :

- la précision de la base de temps (62% des raisons)
- la lisibilité lors des lectures précises (46%)
- les fonctions offertes (23%)

Les personnes qui ont un avis contraire (50%) affirment que la montre numérique est moins utile à cause de :

- sa mauvaise lisibilité (63% des raisons)
- la manipulation peu pratique des boutons-poussoir (31%)

1) La sous-population des personnes portant une montre numérique est moins importante que celle des personnes portant une montre analogique ($N_{\text{num.}} = 25$; $N_{\text{analog.}} = 98$). Par conséquent, les résultats relatifs aux porteurs de montres numériques ont plus un caractère indicatif que définitif.

Les personnes qui ont acheté une montre numérique ont été motivées par (question 20) :

- la nouveauté (31% des motivations)
- les possibilités fonctionnelles et techniques (13%)

Ces possibilités résident dans la multiplicité des fonctions qui sont intégrées dans ce type de montre (chronographe, réveil, etc). Il faut relever que nombre de personnes (28%) ont reçu une telle montre en cadeau.

En confrontant les réponses apportées à la question 20 avec celles de la question 16 qui traite de l'utilité de la montre numérique, nous constatons que les personnes qui ont acheté ce type de montre pour sa nouveauté sont négatives quant à son utilité. En revanche, les personnes qui ont été motivées par l'aspect fonctionnel affirment qu'elle est plus utile que la montre analogique.

Les personnes qui portent une montre à affichage numérique choisiraient à nouveau une montre électronique (84% des réponses à la question 21). Il n'est pas possible de faire une différence statistiquement significative dans la préférence pour une montre électronique numérique (44% des choix) ou pour une montre électronique analogique (36%).

Les raisons principales du choix d'une montre numérique sont :

- les possibilités fonctionnelles et techniques (45% des raisons invoquées)
- l'habitude (36%)

Le choix pour la montre analogique électronique est motivé par :

- la lisibilité (44% des motivations)
- la précision (44%)
- l'esthétique (33%)
- le désir de retrouver l'affichage analogique (22%)

La question 22 (la montre électronique c'est...) permet de dresser un profil de la montre électronique. Elle reflète

l'avenir et le progrès (33% des réponses contiennent des termes relatifs à l'avenir et au progrès); ces termes sont pris dans le sens humain ou dans le sens technique. Ils sont parfois liés à des valeurs positives, telles que l'espoir dans la technologie, le résultat d'une invention marquant le XXe siècle, mais parfois aussi négatives telles que la fin de l'artisanat et la concentration industrielle.

La montre électronique véhicule aussi des aspects techniques (35%), le plus souvent liés à des valeurs positives : grande précision, facilité d'entretien.

En comparant les réponses de cette question avec celles de la question 7 (la montre c'est ...), on remarque que les notions d'utilité et surtout de nécessité apparaissent très faiblement :

	un objet utile	une nécessité
la montre c'est	48 %	28 %
la montre électronique c'est	12 %	1 %

Les valeurs en pourcent se rapportent au nombre de réponses qui contiennent des termes relatifs aux deux aspects évoqués.

En conséquence, la montre électronique est considérée comme le fruit d'une technologie de pointe, mais elle n'est pas un objet aussi nécessaire que la montre définie en général. Il est probable que les personnes interrogées pensent que ce genre de montre est un objet qu'il faut prendre au sérieux (l'aspect gadget inclus dans la notion de mode n'apparaît qu'avec une proportion de 6%), mais elles pensent qu'il est destiné aux autres.

Cet objet ne véhicule aucune notion affective positive.

En résumé, la montre à affichage analogique est très appréciée. Ses principales qualités sont :

- la lisibilité (lorsque les situations de lectures sont précisées par les personnes interrogées, elles ont trait

aux lectures relatives)

- l'esthétique

Plus particulièrement, la montre analogique mécanique est choisie :

- par habitude
- pour sa solidité

Les raisons de la préférence pour la montre analogique électronique sont :

- la précision de la base de temps
- la simplicité d'utilisation

Une résistance à la montre électronique à affichage numérique a été mise en évidence. Les principaux défauts qu'on lui reproche sont :

- sa mauvaise lisibilité (lectures relatives)
- sa manipulation peu pratique (boutons-poussoir)
- son manque d'esthétique

Les personnes qui sont favorables à ce type de montre donnent les raisons suivantes :

- bonne lisibilité (lorsque les situations de lectures sont définies, elles ont trait aux lectures précises)
- précision du mouvement
- fonctions multiples intégrées (chronométrage, p. e.).

La fig. 42 donne une vue générale des raisons des préférences de deux sous-populations (porteurs de montres analogiques et porteurs de montres numériques) pour les différents types de montres. Nous avons distingué entre forte et faible attirance.

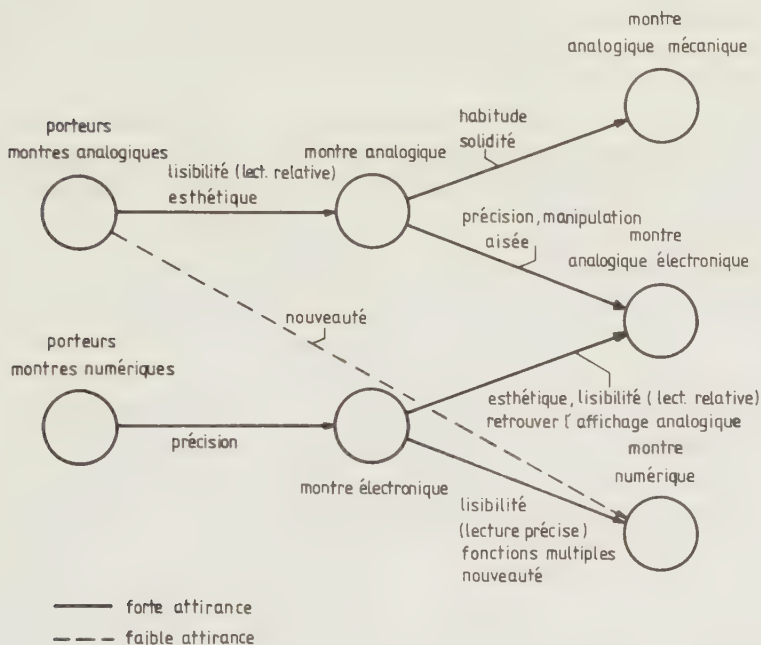


fig. 42

En conclusion, l'utilisateur préfère la montre à affichage analogique à la montre à affichage numérique.

En effet, les valeurs fonctionnelles, affectives et esthétiques qui sont attribuées à la montre analogique sont positives.

La montre numérique ne satisfait pas à toutes les utilisations dont la montre fait l'objet en général : la montre numérique n'est pas associée à des utilisations esthétiques et affectives, mais uniquement à une utilisation fonctionnelle.

Bien que cette dernière utilisation soit l'utilisation principale de la montre, elle n'est, dans le cas de la montre numérique, pas empreinte du caractère de nécessité tel qu'il est apparu lors de l'esquisse du profil de la montre en général. De plus, les valeurs attribuées à l'utilisation fonctionnelle de la montre numérique sont partagées; elles sont parfois positives, parfois négatives.

Une des qualités de la montre numérique est la bonne lisibilité pour les lectures précises. Ce jugement subjectif est confirmé par les résultats de l'étude de la lisibilité qui a été réalisée en laboratoire (chap. 4.3). Ils mettent en évidence la supériorité de l'affichage numérique pour ce type de lecture.

L'attitude des personnes qui préfèrent l'affichage analogique pour la bonne lisibilité qu'il offre dans le cas des lectures relatives n'est pas confirmée de façon catégorique par les résultats en laboratoire. En effet, ces derniers dépendent de la précision de lecture; or, celle-ci n'est pas indiquée par les répondants au questionnaire.

5. Synthèse des résultats

La lisibilité de deux affichages conventionnels (analogique et numérique) et de trois affichages nouveaux a été évaluée pour trois opérations perceptives et mentales différentes :

- la perception de l'information
- la mémorisation de l'information
- le processus global de traitement de l'information

Les deux affichages conventionnels ont aussi été évalués par rapport à la préférence qu'ont les utilisateurs pour ces deux systèmes.

Jusqu'à présent, les résultats ont été présentés par rapport aux différents tests et à l'enquête.

Pour apporter une autre dimension aux résultats obtenus, nous nous proposons d'élaborer une synthèse des résultats principaux structurée en fonction du type d'affichage.

5.1 Affichage analogique

Lors de l'analyse de la lisibilité considérée dans le processus global du traitement de l'information, les résultats obtenus avec l'affichage analogique mettent en évidence que :

- la lecture approximative (à 5 min) est 1,3 fois plus rapide que la lecture précise (à 1 min)
- la lecture approximative est réalisée avec 2 fois moins d'erreurs que la lecture précise.

Lors de la mesure tachistoscopique, nous avons relevé que, pour une durée d'exposition très courte (10 ms) de l'affichage analogique, les sujets perçoivent l'information à 5 min près. Avec les autres types d'affichages, pratiquement aucune information n'est perçue.

Le test de mémorisation a permis de constater que les temps mémorisés sur l'affichage analogique le sont généralement approximativement.

Par conséquent, l'affichage analogique est particulièrement indiqué pour les lectures approximatives.

L'analyse des mouvements oculaires a mis en évidence que, pour qu'il y ait perception de toute l'information contenue dans cet affichage, l'utilisateur doit, en général, procéder à plus d'une fixation oculaire (en moyenne 1,8).

Ce résultat est en parfait accord avec l'expérience tachistoscopique : pour une durée d'exposition de 100 ms, durée qui ne permet qu'une fixation oculaire, le sujet ne peut percevoir l'information exactement.

Les valeurs moyennes des temps de réaction et de l'erreur relative ($\bar{t}$, $\bar{e}$) obtenues avec les résultats de laboratoire et l'étude de la lecture de l'heure dans la réalité mettent en évidence une similitude des performances de l'affichage analogique et de l'affichage numérique (voir chap. 4.3.3.3). Cela signifie que, pour une utilisation très générale, il n'est pas possible de conseiller plus particulièrement un des deux affichages conventionnels. Toutefois, il faut relever que 21% des lectures rencontrées dans la réalité ne sont pas prises en considération par les valeurs moyennes ($\bar{t}$, $\bar{e}$). En effet, seules les lectures absolues et relatives à 1 min et 5 min et les lectures dichotomiques entrent dans le calcul des moyennes. Parmi les lectures qui ne sont pas considérées dans ce calcul, nous trouvons les lectures absolues et relatives à la précision de 1 sec (0,6% de toutes les lectures) et les lectures absolues et relatives effectuées avec une précision inférieure à 5 min (7,8%) qui sont à considérer comme lectures approximatives.

Les résultats expérimentaux ont montré que l'affichage analogique a une meilleure lisibilité que l'affichage numérique pour les lectures à 5 min (lectures approximatives). Ainsi, si le calcul des moyennes englobait toutes les

lectures, nous pouvons penser que la similitude des résultats (affichage analogique, affichage numérique) disparaît au profit d'une légère supériorité de l'affichage analogique.

Lors de l'analyse de la lisibilité pour la lecture relative, nous n'avons pas relevé, contrairement à certains stéréotypes, une supériorité de l'affichage analogique sur l'affichage numérique. En effet, ces deux affichages présentent des performances comparables.

En considérant le facteur de la précision de la réponse, les résultats peuvent être différenciés en fonction du type d'affichage. Lorsque la lecture relative est approximative (à 5 min), l'affichage analogique est plus rapidement lu que l'affichage numérique. Lorsque la lecture relative est précise (à 1 min), les résultats sont inversés. La supériorité de l'affichage analogique pour les lectures relatives approximatives n'est pas étonnante.

Sur l'affichage analogique, ce genre de lecture ne nécessite pas d'opération arithmétique. Le secteur angulaire ou l'arc de cercle compris entre l'aiguille réelle et l'aiguille imaginaire placée par le sujet sur le point représentant le temps de référence peut être associé aisément à la différence recherchée. Un secteur angulaire de 90° est immédiatement associé à 15 min, un de 210° à 35 min.

L'analyse des erreurs commises lors de la lecture relative approximative de l'affichage analogique nous permet de penser que la différence entre le temps de référence et le temps présent est effectuée par l'estimation du secteur angulaire ou de l'arc de cercle. Sur 32 erreurs commises lors de ce type de lecture, 22 proviennent du fait que les sujets se sont trompés de secteur angulaire; ils ont considéré le secteur complémentaire à 2π . Par exemple, si l'heure affichée était 2 h.31 et l'heure de référence 3 h.20, la réponse donnée était 10 min au lieu de 45 ou

50 min. Dans ce cas, la position de l'aiguille des heures n'a pas été prise en considération; il n'y a donc pas eu de transcodage du temps affiché en une valeur numérique. L'estimation optique du secteur angulaire s'avère très efficace lorsqu'il est compris entre 90° et 360° (dans notre expérience, pour les lectures approximatives, la différence entre le temps affiché et le temps de référence est comprise entre 15 min et 60 min) et que la discrimination est réalisée par pas de 30° (précision à 5 min).

Lorsqu'il s'agit de discriminer les secteurs angulaires ou les arcs de cercle par pas de 6° , ce qui correspond à la précision de la minute, et lorsque ces secteurs ou ces arcs sont petits, ils sont compris entre 6° et 90° (dans notre expérience, pour les lectures précises, la différence est comprise entre 1 min et 15 min), la stratégie que nous venons d'énoncer n'est certainement plus valable. Dans ce dernier cas, le sujet doit procéder à des opérations mentales plus complexes. Contrairement à la situation de lecture approximative, le secteur angulaire compris entre le temps de référence et le temps présent ne peut être directement associé à la grandeur correspondant au résultat. Ce processus est trop imprécis pour prétendre donner une réponse exacte à la minute.

La réponse est certainement recherchée par une opération qui consiste à diviser le secteur angulaire ou l'arc de cercle relatif à la différence en des sous-secteurs ou sous-arcs. Cette division serait effectuée par multiples de 5 min. Les unités de minutes restantes (secteur compris entre le temps affiché et le prochain repère sur l'affichage correspondant à un multiple de 5 min et secteur compris entre le temps de référence et le repère des 5 min qui le précède) seraient ensuite additionnées au nombre de multiples obtenu.

Il se peut que cette opération ne puisse pas être effectuée uniquement optiquement, avec l'affichage utilisé comme support. Dans ce cas, le sujet devrait procéder à un transcodage de chaque sous-secteur ou sous-arc en une

grandeur numérique et ensuite à une addition de ces nombres. Avec l'affichage numérique, dans cette situation, la différence peut être obtenue directement par une opération arithmétique.

Ceci expliquerait les temps de lecture plus rapides qui ont été relevés lors des tests.

L'expérience réalisée par Neubauer tend à confirmer notre conclusion selon laquelle la lecture relative sur l'affichage analogique est plus rapide que la lecture sur l'affichage numérique lorsque la différence entre le temps affiché et le temps de référence est comprise entre 15 et 60 min et que la réponse ne doit pas être donnée exactement. En effet, ses résultats mettent en évidence la supériorité de l'affichage analogique lorsque la lecture relative est réalisée avec une précision de ± 1 min et que la consigne donnée aux sujets est d'établir la différence entre :

- le temps affiché et la prochaine heure entière
- le temps affiché et la prochaine demi-heure
- le temps affiché et les prochains 3/4 d'heure

Dans cette expérience, la lecture de l'affichage analogique est proche de notre lecture approximative. Le temps de référence est non seulement un multiple de 5 min mais un multiple de 15 min qui a la particularité, sur l'affichage analogique, de pouvoir être relié au centre par une ligne horizontale ou verticale. De plus, la réponse ne doit pas être donnée exactement à la minute, comme c'est le cas dans notre situation de lecture précise, mais avec la précision de ± 1 min.

En mode de lecture dichotomique, les affichages analogique et numérique présentent des qualités comparables.

L'affichage analogique est l'affichage le plus connu. Il a créé chez l'utilisateur une habitude certaine. Ainsi, nous ne pouvions pas nous attendre à ce que cet affichage soit rejeté et que les préférences des consommateurs se

portent spontanément sur l'affichage numérique. Dans l'enquête qu'il avait réalisée en 1970, Cey-Bert (chap. 2.3) avait déjà relevé une attitude plus favorable à l'affichage analogique.

Cependant, il faut relever que les raisons de préférences pour la montre à affichage analogique ne sont pas uniquement basées sur l'habitude et l'affectivité mais sur des aspects fonctionnels tels que la lisibilité, la simplicité d'utilisation et la fiabilité, et sur les aspects esthétiques. Ainsi, pour les personnes interrogées, la montre à affichage analogique apparaît comme étant plus lisible lors des lectures relatives, pouvant plus facilement être remise à l'heure, étant plus solide et plus jolie que la montre à affichage numérique. Elle remplit mieux les désirs des utilisateurs.

5.2 Affichage numérique

L'affichage numérique est très bien adapté pour les lectures précises et les lectures absolues.

Contrairement à l'affichage analogique, il n'est pas possible de procéder à des arrondissements visuels; ils doivent être exécutés mentalement, ce qui nécessite plus de temps. En effet, arrondir visuellement signifie ne pas considérer toute l'information contenue dans l'affichage; arrondir mentalement signifie considérer toute l'information contenue dans l'affichage et ensuite procéder mentalement à l'opération d'arrondir. Cette particularité est mise en évidence avec tous les tests effectués. Pour des durées d'exposition très faibles (10 ms), le sujet ne perçoit pratiquement aucune information. Lorsque la durée d'exposition passe à 100 ms, toute l'information est perçue. Il faut donc que la durée d'exposition dépasse un certain seuil (entre 50 et 100 ms) pour que de l'information puisse être perçue et, lorsque de l'information est perçue, il s'agit de la totalité de l'information. Nous sommes en

présence d'un processus dichotomique de tout ou rien intrinsèque à ce type d'affichage.

Lors du test de mémorisation, la même propriété est relevée. Le temps est mémorisé exactement ou avec une erreur qui est dispersée sur tout le domaine d'erreur. La particularité de mémoriser approximativement le temps, qui a été rencontrée avec l'affichage analogique, n'existe pas.

L'évaluation des temps et des erreurs de lecture (processus global du traitement de l'information) confirme ces premiers résultats. L'affichage numérique est lu plus rapidement et avec moins d'erreurs à la précision de 1 min qu'à la précision de 5 min. Pour les lectures précises, cet affichage offre des performances meilleures que l'affichage analogique. Il en est de même pour les lectures absolues. La restitution verbale d'un temps donné sous forme numérique est plus rapide que la verbalisation d'un temps représenté avec des aiguilles. Avec l'affichage analogique, il est nécessaire de procéder à un transcodage de l'information qui est plus complexe : il faut transcoder une information sous forme géométrique (position des aiguilles) en une information symbolique (chiffres) qui est demandée pour la verbalisation.

En conséquence, les personnes qui effectuent fréquemment des lectures absolues et précises ont intérêt à utiliser un affichage numérique. Cette situation est rencontrée, entre autres, lors des opérations de chronométrage.

L'évaluation que nous avons effectuée pour une utilisation générale de la montre a mis en évidence que les temps de réaction moyens et l'erreur relative moyenne obtenus avec l'affichage numérique sont comparables à ceux correspondant à l'affichage analogique. Dans cette situation, ces deux affichages se valent.

Dans le cas des lectures relatives, il faut remarquer que non seulement le temps de réaction est plus long que pour

de lecture absolue, mais que le temps d'exposition l'est aussi. La même caractéristique a été relevée avec l'affichage analogique : en regardant l'affichage, l'utilisateur a la possibilité de déterminer le temps relatif en construisant optiquement un secteur angulaire. Dans la situation de lecture sur l'affichage numérique, la présence de l'affichage a une autre fonction : les chiffres servent certainement de support pour la réalisation mentale de la soustraction.

Les résultats que nous avons obtenus pour les lectures absolues et précises concordent avec ceux que Neubauer (chap. 2.1) et Zeff (chap. 2.4) ont trouvés :

- la lecture absolue et précise est effectuée 2,5 fois plus rapidement (Neubauer : 2 fois; Zeff : 3,5 fois) et avec 13 fois moins d'erreurs (Zeff : 14 fois) sur l'affichage numérique que sur l'affichage analogique.

Il faut toutefois préciser que les situations expérimentales et les consignes diffèrent sensiblement pour ces trois expériences; en conséquence, il est normal que les résultats ne sont pas absolument identiques.

Les résultats provenant de l'analyse des mouvements oculaires sont en contradiction avec l'idée émise par Cey-Bert (chap. 2.3), idée qu'il n'a d'ailleurs pas vérifiée expérimentalement. Cey-Bert prétend qu'une fixation oculaire ne permet de percevoir qu'une paire de chiffres de l'affichage numérique. Dans notre cas, il faudrait deux fixations. D'autre part, il affirme qu'une fixation est suffisante pour percevoir toute l'information contenue dans l'affichage analogique.

Expérimentalement, nous avons relevé qu'en moyenne la perception de l'affichage numérique nécessitait une seule fixation, celle de l'affichage analogique 1,8 fixation. Contrairement à l'affirmation émise par Cey-Bert, le processus du mécanisme de perception est plus simple avec l'affichage numérique lorsque toute l'information doit être perçue.

Lors de l'enquête qui a été réalisée, nous avons rencontré une forte résistance face à l'affichage numérique. Les principales raisons sont :

- la mauvaise lisibilité pour les lectures relatives
- la manipulation peu pratique de la commande à boutons-poussoir
- le manque d'esthétique

Les deux premières raisons sont liées directement à l'efficacité fonctionnelle. Pour l'utilisateur, l'affichage numérique présente une moins bonne lisibilité que l'affichage analogique lors des lectures relatives; il ressent l'affichage numérique comme étant un instrument qui augmente la complexité des opérations mentales de lecture.

La seconde raison invoquée n'est pas liée à la lecture de l'affichage, mais elle revêt une grande importance pour une évaluation ergonomique globale de la montre. En effet, l'interaction homme-machine analysée non plus uniquement au niveau de l'affichage, mais également au niveau de la commande est primordiale : une montre avec un affichage présentant une bonne lisibilité ne peut être proposée à l'utilisateur si elle n'offre pas un système simple pour la commande des différentes fonctions (remise à l'heure, fuseau horaire, rappel mémoire, etc.).

Les personnes qui préfèrent la montre à affichage numérique portent en général ce type de montre. Les raisons invoquées sont purement fonctionnelles :

- bonne lisibilité pour les lectures précises
- fonctions multiples offertes

En conséquence, la montre à affichage numérique n'est préférée à la montre à affichage analogique que pour des utilisations particulières qui nécessitent une grande précision de lecture ou plusieurs fonctions (réveil, chronographe, p. e.); mais, en général, elle ne satisfait pas l'utilisateur.

5.3 Affichage pseudo-analogique

Lors de tous les tests, cet affichage a présenté un profil qui a les mêmes caractéristiques que celui de l'affichage analogique :

- la quantité d'information perçue augmente progressivement lorsque la durée d'exposition de l'affichage augmente
- pour une durée d'exposition de 100 ms, la totalité de l'information n'est pas perçue; le sujet perçoit l'information approximativement (à 5 min)
- les temps mémorisés avec cet affichage comportent très fréquemment des erreurs de 1 ou 5 min. Ils ne sont donc, en général, pas mémorisés exactement
- les lectures approximatives (à 5 min) sont réalisées plus rapidement et avec moins d'erreurs que les lectures précises (à 1 min).

La meilleure lisibilité pour les lectures approximatives que pour les lectures précises s'explique par le fait que l'information relative aux unités des minutes est représentée par un ensemble de segments différent de celui qui donne l'information des multiples de 5 min.

Au niveau perceptif, la prise de l'information des unités des minutes nécessite une fixation oculaire spécifique.

Au niveau du processus global du traitement de l'information, la lecture de l'information de la minute demande une opération mentale supplémentaire : il faut ajouter ou retrancher une ou deux unités au multiple de 5 min. La difficulté pour la lecture précise (à 1 min) est confirmée par l'analyse des erreurs. Sur les 59 erreurs de lecture qui ont été relevées, 45 ont été provoquées par des lectures à 1 min et, sur ces 45 erreurs, 27 (46% du total) sont dues à une mauvaise interprétation des segments des minutes.

Ainsi, l'affichage pseudo-analogique est mieux approprié pour les lectures approximatives que pour les lectures précises. En ce point, les résultats correspondent à l'utili-

sation pour laquelle il a été conçu.

Cependant, pour tous les tests, il présente les plus mauvaises performances des 5 affichages évalués. Deux raisons principales peuvent être invoquées:

- 1) La conception géométrique proposée lors des tests n'est pas optimale.

Les points et les rectangles qui représentent les heures et les multiples de 5 min devraient être remplacés par des formes proches des aiguilles et ces aiguilles devraient être de deux dimensions différentes : l'une pour les heures, l'autre pour les multiples de 5 min. En effet, la différenciation entre indicateur des heures (couronne centrale) et indicateur des multiples de 5 min (couronne extérieure) n'est pas facile. Nombre d'erreurs ont été commises par l'inversion entre les segments des heures et ceux des multiples de 5 min. Par exemple, au lieu de lire 10 h.25, des sujets ont lu 5 h. moins 10. La difficulté de différencier les deux informations s'explique aussi par le fait que, sur ce type d'affichage, l'indicateur des heures ne peut pas prendre des positions intermédiaires comme c'est le cas avec l'affichage analogique. Par exemple, lorsqu'il est 10 h.25, l'aiguille des heures de l'affichage analogique est entre le 10 et le 11; si cet affichage indique 5 h. moins 10, l'aiguille des minutes est exactement sur le 10 et l'aiguille des heures très proche du 5. Lorsque l'affichage pseudo-analogique indique 10 h.25 (fig. 43), le segment des heures correspondant à 10 h. est activé comme si l'aiguille de l'affichage analogique était positionnée exactement sur 10. Cette configuration est plus proche de la représentation analogique de 5 h. moins 10, provoquant ainsi une erreur de lecture.

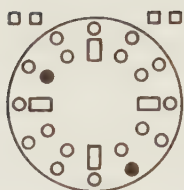


fig. 43

De plus, la perception de points ou de rectangles est plus difficile que la perception d'aiguilles. Lors de l'analyse des mouvements oculaires, nous avons relevé des fixations qui ne servent pas à prendre de l'information concernant le temps, mais qui auraient un but exploratoire afin de découvrir l'emplacement des segments activés. Ce même type de difficulté a été relevé par Neubauer (chap. 2.1). Dans son étude, il a évalué un affichage analogique dont l'aiguille des minutes est remplacée par un point. Le test a mis en évidence que le temps de la lecture absolue est deux fois plus long avec cet affichage qu'avec l'affichage analogique conventionnel.

Il faut ajouter que les aiguilles ont la qualité de mieux délimiter un secteur angulaire que les points; la lecture relative serait ainsi facilitée.

- 2) L'affichage pseudo-analogique est, par sa conception, l'affichage nouveau le plus éloigné des affichages conventionnels. La représentation de l'information des unités des minutes est très particulière.

Ainsi, cet affichage nécessite une phase d'apprentissage plus longue que celle nécessaire aux deux autres affichages nouveaux.

L'évaluation de la pente de la courbe exponentielle d'apprentissage a montré que, bien qu'il y ait eu une phase d'apprentissage préalable, cet affichage n'était pas encore assimilé lors des séries de test. En

conséquence, il est permis de penser que, si l'entraînement était poursuivi, les performances relatives au temps de lecture et à l'erreur seraient améliorées.

Bien que les résultats qui ont été obtenus ne soient pas satisfaisants, l'affichage pseudo-analogique ne doit pas être abandonné. Il a été conçu spécialement pour les lectures approximatives qui sont très fréquemment effectuées dans la réalité. Avec ce type d'affichage, l'utilisateur peut rechercher directement la précision souhaitée. L'information donnant la précision de la minute est représentée sur une zone (quatre segments au-dessus des couronnes, fig. 9, p. 82) distincte de celle (couronne extérieure) qui contient l'information donnant la précision à 5 min. Ainsi, avec cette disposition, l'arrondissement à 5 min près est déjà réalisé; le cerveau n'est pas obligé de traiter le contenu informationnel maximal (9,48 bits) comme c'est le cas avec l'affichage numérique.

De plus, cet affichage permet la réalisation visuelle de la lecture relative. Ainsi, pour les lectures relatives approximatives, les performances devraient être proches de celles obtenues avec l'affichage analogique.

En conséquence, la conception géométrique de cet affichage devrait être revue en fonction des remarques élaborées plus haut et l'évaluation de la lisibilité devrait être réalisée avec une phase d'apprentissage plus longue.

Un autre avantage de cet affichage réside dans le fait que sa complexité technique est semblable à celle de l'affichage numérique (Bouille et Monbaron, 1979, p. 16).

5.4 Affichage pseudo-numérique

Typologiquement, l'affichage pseudo-numérique se situe entre l'affichage analogique et l'affichage numérique (chap. 4.1). D'après les résultats obtenus, ses caractéristiques sont plus proches de celles de l'affichage numé-

rique que de celles de l'affichage analogique :

- pour une durée d'exposition très courte (20 ms), pratiquement aucune information n'est perçue
- pour une durée d'exposition plus longue (200 ms), presque la totalité de l'information est perçue.

Nous sommes à nouveau en présence du processus dichotomique rencontré avec l'affichage numérique. Ceci n'est pas étonnant car l'information est représentée par des chiffres.

L'information qui n'a parfois pas été perçue est celle des chiffres des minutes qui ont une dimension deux fois plus petite que ceux des heures. Cependant, la localisation de la paire de chiffres des minutes est toujours correcte; elle donne l'information relative au multiple de 5 min.

- lors du test de mémorisation, la catégorie de réponses qui est la plus fréquente est celle des réponses exactes. Les erreurs relevées sont réparties sur tout le domaine d'erreur.
- le temps de lecture (processus global du traitement de l'information) est plus court pour les lectures précises que pour les lectures approximatives. Cette différence n'est cependant statistiquement pas significative. Les erreurs sont moins nombreuses pour la précision à 1 min que celle à 5 min. (Ce dernier résultat a uniquement été relevé lors de la lecture relative).

En comparant l'affichage pseudo-numérique avec les autres types d'affichages, nous constatons qu'il détient les meilleures performances pour la mémorisation et que les temps de lecture moyens ($\bar{t}$) considérés pour l'exposition individuelle et pour la réaction verbale sont les plus courts des 5 affichages.

Bien que l'affichage pseudo-numérique soit mieux adapté pour les lectures précises, il offre une bonne lisibilité pour les lectures approximatives; elles sont parfois supérieures à celles de l'affichage analogique (temps de

réaction verbale pour les lectures à 5 min). Il faut préciser que cette dernière remarque n'a pas pu être vérifiée statistiquement à cause de la structuration de l'expérience. Il est aussi très bien adapté pour les lectures dichotomiques; le temps de réaction verbale est le plus court des 5 affichages.

Cet affichage ne pose pas de problème d'apprentissage. La courte phase d'apprentissage effectuée avant la série de test a été suffisante pour que les mesures relevées pendant le test ne soient pas affectées par le processus d'apprentissage. En effet, la pente de la courbe d'apprentissage pendant le test est quasi nulle.

En conséquence, l'affichage pseudo-numérique est un substitut valable aux affichages conventionnels. Constitué avec une technologie "solid state", il donne à l'utilisateur un confort de lecture qui peut être supérieur à celui offert par l'affichage numérique.

Les fonctions qui sont souvent intégrées dans la montre numérique telles que le chronographe ou le réveil peuvent être représentées par l'affichage pseudo-numérique sans augmenter sa complexité technique.

La représentation de l'heure avec un affichage formé d'éléments hybrides a pour conséquence de faciliter la lecture. Il faut cependant que cette forme d'affichage qui est une synthèse de la représentation spatiale (affichage analogique) de l'heure et de la représentation symbolique numérique ne diffère pas trop des modèles connus. Sinon, nous sommes confrontés aux problèmes qui ont été relevés lors de l'évaluation de l'affichage pseudo-analogique.

Il faut encore relever que l'affichage pseudo-numérique a rencontré un accueil très favorable auprès des sujets qui ont participé aux expériences en laboratoire.

5.5 Affichage numérique avec signe moins

Typologiquement, l'affichage numérique avec signe moins est très proche de l'affichage numérique et les résultats des tests le confirment :

- lors du test de perception, les courbes de ces deux affichages qui représentent l'information perçue en fonction de la durée d'exposition (chap. 4.3.1.1., fig. 20) sont pratiquement superposées
- lors de la prise de l'information, une seule fixation oculaire suffit. Cette considération est valable aussi bien pour l'affichage numérique avec signe moins que pour l'affichage numérique.
- le test de mémorisation a mis en évidence d'une part que, pour les deux types d'affichages, le temps est mémorisé exactement ou avec une erreur qui est répartie sur tout le domaine d'erreur.

D'autre part, le contenu informationnel qui a été mémorisé est quasi identique dans les deux cas (332,3 bits pour l'affichage numérique et 339,8 bits pour l'affichage numérique avec signe moins).

- dans l'évaluation du processus global du traitement de l'information, l'affichage numérique avec signe moins présente les mêmes performances que l'affichage numérique pour les lectures relatives

Quelques différences entre ces deux affichages sont à relever; en particulier, pour la précision de lecture à la minute, le temps de réaction verbale est plus long avec l'affichage numérique avec signe moins et les erreurs de lecture sont plus nombreuses.

Lors de la lecture dichotomique, le même nombre d'erreurs ont été commises avec cet affichage qu'avec l'affichage pseudo-analogique (5%). Pour les trois autres affichages, aucune erreur n'a été relevée.

En conséquence, l'affichage numérique avec signe moins présente des caractéristiques de lisibilité semblables à celles de l'affichage numérique. Dans quelques cas, elles sont légèrement inférieures; elles ne peuvent cependant pas être vérifiées statistiquement car les situations expérimentales dans lesquelles ces deux affichages ont été évalués sont distinctes.

Cet affichage est donc plus performant lorsque les lectures sont précises.

Les tests que nous avons réalisés n'ont pas permis de savoir si cette forme de représentation de l'heure a pour conséquence de donner réellement à l'utilisateur une meilleure notion du temps.

Avec l'affichage numérique, lorsque le temps se rapproche de l'heure pleine (7 h.53, p. e.), le fait d'être proche de 8 h. devrait être moins évident qu'avec l'affichage numérique avec signe moins.

Il faut encore relever que cet affichage ne nécessite qu'une courte phase d'apprentissage.

Conclusion

Une méthode originale a été développée pour l'évaluation ergonomique des affichages horlogers. Elle prend en considération l'efficacité fonctionnelle de l'affichage et les jugements de préférence de l'utilisateur.

Cette méthode a permis de déterminer la mesure dans laquelle des affichages de conception nouvelle et réalisés avec une technologie "solid state" pourraient être un substitut aux affichages conventionnels (analogique et numérique). Ainsi, l'affichage pseudo-numérique apparaît comme une bonne solution. Cet affichage est constitué d'éléments appartenant aux deux affichages conventionnels; typologiquement, il est situé à mi-chemin entre ces deux affichages. Les tests ont démontré que cet affichage détenait les meilleures performances de lisibilité pour une utilisation générale de la montre et les meilleures qualités lors du processus de mémorisation. De plus, l'affichage pseudo-numérique n'a posé aux sujets aucun problème d'apprentissage.

En conséquence, un affichage qui est composé d'éléments hybrides et qui n'est pas situé trop loin des cadres connus peut constituer un excellent compromis en vue d'une substitution aux affichages conventionnels.

Cette évaluation ergonomique a aussi fourni des résultats intéressants qui permettent d'établir une dissociation entre les affichages du type analogique et ceux du type numérique pour la lisibilité et la mémorisation de l'information. En effet, la mesure tachistoscopique, l'analyse des mouvements oculaires, la mesure des temps de réaction et l'évaluation de la mémorisation ont mis en évidence la supériorité des affichages du type numérique lorsque

l'information qui est lue ou mémorisée doit être précise. En revanche, lorsqu'il s'agit de procéder à une lecture ou une mémorisation approximative, l'affichage analogique paraît bien adapté.

La lisibilité considérée pour le processus global du traitement de l'information a été évaluée en laboratoire en fonction de trois modes de lecture (absolu, dichotomique et relatif) et de deux précisions de lecture (à 1 min et à 5 min). En pondérant les résultats obtenus avec les fréquences des différents modes et précisions de lecture relevées dans la réalité, nous constatons que les affichages analogique et numérique présentent une qualité de lecture comparable. Cela signifie que, pour une utilisation générale de la montre, il n'est pas possible de conseiller l'affichage analogique plutôt que l'affichage numérique. Cependant, l'enquête d'opinion que nous avons effectuée révèle que la montre à affichage numérique est mal acceptée. Les raisons de cette résistance laissent penser que si l'esthétique de ce type de montre était améliorée et surtout, si le processus conversationnel (commande à boutons-poussoir) subissait de profonds changements, ce type de montre recevrait un accueil plus favorable.

Cette enquête d'opinion, qui est une méthode d'investigation statistique, est confirmée, en partie, par les résultats qui ont été obtenus en laboratoire avec une méthode expérimentale. Les personnes interrogées pensent que l'affichage numérique offre une meilleure lisibilité pour les lectures précises. Ce jugement a pu être vérifié par la méthode expérimentale.

Dans la situation de lecture relative, les résultats expérimentaux ne confirment pas directement l'opinion des sujets interrogés (supériorité de l'affichage analogique sur l'affichage numérique). En effet, les résultats expérimentaux sont nuancés en fonction de la précision de lecture, paramètre qui n'est pas indiqué explicitement par les personnes interrogées.

L'analyse des mouvements oculaires a été fort utile. D'une part, elle a permis d'infirmier des affirmations selon lesquelles le processus perceptif de l'affichage numérique était plus complexe que celui de l'affichage analogique (Cey-Bert, 1970). D'autre part, elle a permis de préciser certaines difficultés qui résident dans la perception de l'information de l'affichage pseudo-analogique. Cet affichage, de conception nouvelle, a été développé spécialement pour effectuer des lectures relatives approximatives, lectures qui sont réalisées très fréquemment dans la réalité. Or, lors des tests, des performances médiocres ont été relevées. Une analyse des résultats de la mesure tachistoscopique, des temps de lecture et des mouvements oculaires a révélé des erreurs dans la conception géométrique de cet affichage.

Questions ouvertes

Qu'elles soient expérimentales ou statistiques, qu'elles soient en relation avec la perception, la mémorisation, le processus global du traitement de l'information ou la préférence des utilisateurs, les différentes approches pour l'évaluation ergonomique des affichages ont apporté des résultats nouveaux. Elles ont cependant mis à la lumière certaines questions auxquelles des réponses n'ont pu être apportées avec le plan expérimental tel qu'il avait été édifié.

Lors du test tachistoscopique effectué dans le but d'analyser la perception de l'information contenue dans l'affichage numérique, nous avons remarqué que, pour de faibles durées d'exposition, les sujets ne percevaient qu'une partie de l'information. Or, cette information perçue correspondait principalement à l'information des minutes, l'information des heures étant rarement perçue. Bien que nous ayons émis certaines hypothèses, il aurait été intéressant de connaître la raison de cette "lecture de droite à gauche".

Lors de cette même mesure tachistoscopique, la perception de l'affichage analogique a été évaluée pour des durées d'ex-

position du stimulus comprises entre 10 et 100 ms. Pour la durée maximale d'exposition (100 ms), l'information contenue dans l'affichage analogique n'a pas été perçue dans sa totalité. Une expérience intéressante consisterait à déterminer le temps d'exposition minimal permettant la perception de l'information complète.

Pour des raisons d'opérationnalisation, l'expérience de laboratoire qui consiste à évaluer les affichages pour le processus global du traitement de l'information ne correspond pas, en tout point, à la situation réelle de la lecture de l'heure.

Dans la réalité, en général l'utilisateur peut se situer dans le temps si bien qu'il s'attend, lorsqu'il lit l'heure, à voir un temps qui est compris dans un intervalle limité. Dans cette situation, les différents temps qui peuvent être affichés ne sont pas équiprobables; le contenu informationnel de l'affichage est donc inférieur au maximum qui est de 9,48 bits. Pour cette raison, lors de la lecture absolue, l'opérateur indique au sujet la fourchette de trois heures dans laquelle se trouvera le temps qui va apparaître.

Le lien avec la réalité est plus difficile à réaliser lorsqu'il s'agit d'évaluer la lisibilité pour les lectures relatives et dichotomiques. En effet, ces lectures prennent en considération des temps de référence qui sont fortement liés au mode de vie personnel (départ au travail, départ d'un moyen de transport public, pause de travail, repas, etc.). Par exemple, on peut penser que pour une personne qui commence quotidiennement son travail à 6 h., 6 h. a une grande signification et nombre de lectures sont effectuées à ce moment; mais, pour une autre personne qui commence à 8 h., 6 h. n'a aucune signification. Dans notre expérience, les temps de référence ont été soit choisis aléatoirement (lecture relative), soit fixés à quatre instants précis de la journée (lecture dichotomique). Pour rendre les tests conformes à la réalité, les temps de

référence devraient être adaptés à la réalité de chaque sujet.

Par exemple, pour l'évaluation des affichages en mode de lecture dichotomique, il ne faudrait pas se limiter à ces quatre temps de référence (9 h., 12 h., 3 h., 6 h.) qui représentent les divisions importantes de la journée (matin, après-midi, soir, ou encore première moitié, seconde moitié du matin, de l'après-midi). Il faudrait interroger les sujets avant le test sur les moments importants qui structurent leur journée et adapter le test à ces points de référence.

Bien que cette stratégie ne permette pas encore de couvrir parfaitement la réalité (non-conformité entre le temps réel et les stimuli, p. e.), nous nous rendons vite compte que les expériences peuvent devenir très complexes.

Nous pouvons aussi nous demander dans quelle mesure les temps qui ont été lus par les sujets avaient une réalité. En effet, lors de la lecture de l'affichage numérique, 93 % des réponses ont été données sous la forme "numérique" et non sous la forme utilisée dans le langage courant. Ainsi, 10 h.50 était restitué sous la forme de 10 h.50 et non de 11 h. moins 10. Est-ce que ces temps ont été compris comme tels par les sujets et ont eu une signification autre que la représentation abstraite d'une succession de chiffres ?

Dans la réalité, il arrive souvent que nous lisions l'heure en étant occupés à une activité. Par exemple, dans une conversation, nous pouvons lire l'heure sans pour autant perdre l'information de la discussion et ne plus être capables de la suivre.

Lors de nos expériences, les sujets n'étaient pas perturbés par une activité annexe et pouvaient se concentrer sur la lecture de l'heure. A cet effet, il serait intéressant de faire participer les sujets à une autre activité lors de la lecture de l'heure et d'évaluer ainsi les différents affichages.

Au point de vue méthodologique, nous ne sommes pas arrivés à déterminer les paramètres des courbes d'apprentissage correspondant aux différents affichages. L'information que nous aurions pu tirer aurait été d'une grande utilité. Elle nous aurait permis, dans le cas de l'affichage pseudo-analogique, de déterminer le nombre de lectures nécessaires à son assimilation et le temps de lecture lorsque l'apprentissage serait accompli. En conséquence, une prochaine étape dans l'expérimentation aurait consisté à évaluer ce type d'affichage pour un grand nombre d'essais de façon à ce qu'il y ait assez de points pour déterminer la courbe d'apprentissage. Cette expérience aurait pu, par exemple, être répartie sur plusieurs séances pour que l'effet dû à la fatigue ne se fasse pas ressentir.

Dans une éventuelle poursuite de l'étude, il conviendrait de réfléchir à une méthode de contre-validation de l'analyse de la lecture de l'heure dans la réalité (chap. 4.2) réalisée par l'intermédiaire d'une fiche d'auto-observation. En effet, ce moyen d'investigation dépend des capacités d'auto-observation et d'introspection des sujets. Il dépend aussi de l'interprétation des personnes qui procèdent au dépouillement des fiches. De plus, une perte d'information a été enregistrée parce que les sujets n'indiquaient pas clairement les raisons et les précisions des lectures qu'ils effectuaient et qu'ils ne pouvaient plus se les remémorer lors de l'interview post-questionnaire.

Il est évident que cette méthode ne pourrait remplacer l'auto-observation. Par exemple, il ne serait guère possible de procéder à l'observation directe lorsque les sujets sont en milieu privé.

L'enquête d'opinion qui a été réalisée nous a permis de dresser un diagramme des préférences des porteurs de montres analogiques et des porteurs de montres numériques pour ces différents types de montres (fig. 42, p. 167).

Par analogie, il aurait été intéressant d'obtenir le diagramme complémentaire des raisons de rejet des différents types de montres. A cet effet, il serait nécessaire de construire un questionnaire qui permette de déterminer, par exemple, les raisons qui font que les consommateurs n'achètent pas tel type de montre ou les inconvénients des différentes montres.

Si une nouvelle enquête d'opinion devait être élaborée, il serait judicieux d'y introduire d'autres questions pour compléter le profil de la montre. Au lieu d'élaborer des questions ouvertes qui permettent de mettre en évidence les aspects les plus saillants de la montre, il serait possible de travailler, par exemple, avec une échelle de Likert. Le profil deviendrait plus exhaustif.

Il faut toutefois remarquer qu'une échelle de Likert ne peut remplacer des questions ouvertes. Ces dernières ont le grand avantage de mettre à jour des aspects originaux qu'une échelle d'attitude n'aurait pas forcément pris en considération.

Cette nouvelle enquête devrait être complétée par des questions qui permettent de connaître les raisons de la préférence des ménagères pour la montre analogique électronique. En effet, notre enquête a mis en évidence la forte attirance des ménagères pour ce type de montre mais n'a pas permis de connaître les raisons profondes ou de relever d'éventuels biais qui auraient pu être commis.

L'étude que nous avons réalisée n'a pris en considération qu'un échantillon composé d'adultes et d'adolescents. Ces personnes ont donc des habitudes profondes. Elles ont, en principe, toutes appris à lire l'heure sur un affichage analogique.

La question fondamentale que nous pouvons nous poser est de savoir quel sera le comportement et l'attitude des enfants d'aujourd'hui lorsqu'ils auront atteint l'âge adulte. Actuellement, ils sont certainement influencés

par de nombreux facteurs qui favorisent l'utilisation de l'affichage numérique. Par exemple, dans les émissions sportives télévisées qui sont très suivies par les enfants, les temps sont affichés en surimpression sous forme numérique. L'utilisation des calculatrices électroniques a aussi pour conséquence de renforcer la puissance et d'augmenter la disponibilité du schéma perceptif de la représentation symbolique numérique.

Ainsi, nous pouvons nous demander dans quelles mesures l'utilisation de l'affichage analogique sera affectée. Est-ce que les enfants favorables à la représentation numérique de l'heure seraient disposés à faire l'apprentissage relativement long de la représentation analogique ? Retrouveront-ils les avantages de la représentation analogique qui ont été évoqués par les personnes que nous avons interrogées ?

Il faut encore être conscient que notre étude est essentiellement basée sur des principes ergonomiques. Ainsi, il n'est pas possible d'extrapoler et de prétendre qu'un affichage nouveau présentant une excellente lisibilité (p. e. l'affichage pseudo-numérique) rencontrerait un grand succès auprès des utilisateurs. Avant d'aboutir à une telle conclusion, il serait nécessaire de réaliser une évaluation des différents affichages basée sur une étude de marché qui prenne en considération l'intérêt des consommateurs pour de tels produits.

Bibliographie

- Blalock H.M., Social Statistics, McGraw-Hill Kogakusha, Tokio, 1972
- Bouille A.-P., Evaluation de la mémorisation et de la perception des affichages horlogers, Institut de Microtechnique de l'Université de Neuchâtel, Neuchâtel, 1978
- Bouille A.-P. et Monbaron J.-J., Evaluation technique des affichages horlogers analysés dans l'étude de lisibilité, Institut de Microtechnique de l'Université de Neuchâtel, Neuchâtel, 1979
- Bouille A.-P. et Rousson M., Enquête d'opinion sur les utilisations de la montre, Société suisse de chronométrie, Büren (Suisse), 1979
- Bouille A.-P., Gygax M. et Vetsch M., Méthode d'évaluation de la lisibilité des affichages horlogers de conception nouvelle et conventionnelle, Société suisse de chronométrie, Büren (Suisse), 1979
- Cey-Bert R., Etude sur la lisibilité comparée de l'heure par affichage analogique et affichage digital, Institut de recherches de motivation, Genève, 1970
- Chapanis A., Research Techniques in Human Engineering, Johns Hopkins Press, Baltimore, 1959
- Cohen A.S., Is Duration of an Eye Fixation a Sufficient Criterion Referring to Information Input ?, Perceptual and Motor Skill, p. 766, vol. 45, 1977
- McCormick E.J., Human Engineering, McGraw-Hill, New York, 1957
- McCormick E.J., Human Factors in Engineering and Design, McGraw-Hill, New York, 1976
- Farine P.-A. et Hämmerli A., Software permettant l'utilisation d'un microprocesseur pour l'édition de figures et de symboles sur un moniteur TV couleur, Institut de Microtechnique de l'Université de Neuchâtel, Neuchâtel, 1978

- Faverge J.-M., Leplat J. et Guiguet B., L'adaptation de la machine à l'homme, PUF, Paris, 1958
- Fitts P.M. et Posner M.I., Human Performance, Brooks, Belmont, 1967
- Frank H., Pédagogie et cybernétique, Gauthier-Villars, Paris, 1967
- Grandjean P.-A., Moret J.-M. et Porret F., Revue des systèmes d'affichage pour applications horlogères, Société suisse de chronométrie, Büren (Suisse), 1979
- Gygax M. et Vetsch M., Untersuchung über die Lesbarkeit von analogen und digitalen Zeitanzeigen, Psychologisches Institut der Universität Zürich, Abteilung Angewandte Psychologie, Zürich, 1978
- Haber R.N., Contemporary Theory and Research in Visual Perception, Holt Rinehart and Winston Inc., New York, 1968
- Kaufman L., Sight and Mind, Oxford University Press, New York, 1974
- Le Coultre R. et Beuchat J.-C., Jugement du Suisse pour sa montre - résultats d'une enquête, Société suisse de chronométrie, p. 762 - 776, 1968
- Le Ny J.-F., de Montpellier G., Oléron G. et Florès C., Traité de psychologie expérimentale, vol. 4, PUF, Paris, 1964
- Lévy-Schoen A., L'étude des mouvements oculaires, Dunod, Paris, 1969
- Lévy-Schoen A. et Renard C., Quelques programmes d'expérimentation sur PDP 12 dans le domaine de la vision, Cahiers de Psychologie, pp. 19 - 28, vol. 18, 1975
- Loftus G.R. et Loftus E.F., Human Memory the Processing of Information, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, 1976
- Massaro D.W., Experimental Psychology and Information Processing, Rand McNally College Publishing Company, Chicago, 1975

- Miller G.A., The Magical Number Seven, plus or minus Two : some Limits on our Capacity for Processing Information, Psychological Review, pp. 81 - 97, 1956
- de Montmollin M., Nouvelles perspectives dans l'étude du travail, Dunod, Paris, 1961
- de Montmollin M., Les systèmes hommes-machines, PUF, Paris, 1967
- Morgan C.T., Human Engineering Guide to Equipment Design, McGraw-Hill, New-York, 1963
- Murdock B.B., Human Memory : Theory and Data, Lawrence Erlbaum Associates, Potomac, 1974
- Nason W.E. et Benett C.A., Dials v Counters : Effects of Precision or Quantitative Reading, Ergonomics, pp. 749 - 758, vol. 16, 1973
- Van Nes F.L., Determining Temporal Differences with Analogue and Digital Time Displays, Ergonomics, pp. 73 - 79, vol. 15, 1972
- Neubauer W., Die Lesbarkeit von Zifferblättern bei Arm-banduhren, Uhrentechn. Forsch. u. Entwicklung, Nr. 4, 1972
- Oppenheim A.N., Questionnaire Design and Attitude Measurement, Heinemann, Londres, 1966
- Paulus J., Les fondements théoriques et méthodologiques de la psychologie, Ch. Dessart, Bruxelles, 1965
- Pellandini F., Proposition d'un nouveau type d'affichage pour montre électronique "solid state", Institut de Micro-technique de l'Université de Neuchâtel, Neuchâtel, 1976
- Piaget J., Fraisse P., Vurpillot E. et Francès R., Traité de psychologie expérimentale, vol. 6, PUF, Paris, 1967
- Plath D.W., The Readability of Segmented and Conventional Numerals, Human Factors, pp. 493 - 497, vol. 12, 1970
- Shackel B., Applied Ergonomics Handbook, Part 1, Chapter 3, Applied Ergonomics, pp. 86 - 94, March 1970

- Siegel S., Nonparametric Statistics for the Behavioral Sciences, McGraw-Hill, New-York, 1956
- Welford A.T., Fundamentals of Skill, Methuen Co, Londres, 1968
- Zeff C., Comparison of Conventional and Digital Time Displays, Ergonomics, pp. 339 - 345, vol. 8, 1965

A N N E X E

Al Fiche d'auto-observation

	lecture	raison	précis.
6h			
7h			
8h			
9h			
10h			
11h			
Midí			
1h			
2h			
3h			
4h			
5h			
6h			
7h			
8h			
9h			
10h			

A2 Edition des affichages sur moniteur de TV couleur

Un synthétiseur d'images a été créé pour générer les différents types d'affichages représentant les différents temps nécessaires pour l'évaluation de la lisibilité en laboratoire.

Il permet d'afficher, sur un moniteur de télévision couleur, n'importe quel type de figure dans toute la gamme définie par le triangle des couleurs des phosphores du moniteur choisi. Un microordinateur pilote le moniteur et donne la possibilité à l'utilisateur de modifier facilement la géométrie et les couleurs des différentes figures.

Dans notre cas, l'écran du moniteur est utilisé pour la représentation de l'affichage horloger.

Un tel système peut être employé comme terminal semi-graphique (digitalisation de l'écran de TV) pour d'autres applications comme la génération de cartes météorologiques, d'histogrammes, de représentations d'installations électriques ou hydrauliques, etc.

Ce synthétiseur est essentiellement composé de quatre parties (fig. a1) :

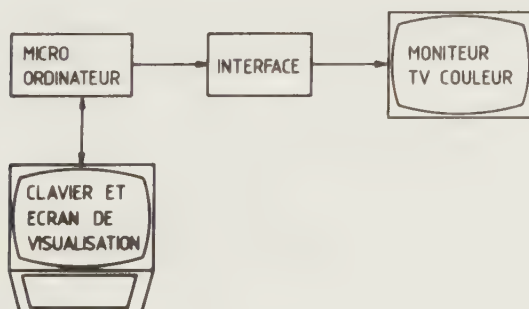


fig. a1

- Le premier élément en est le moniteur TV couleur sur lequel apparaissent les images. C'est un moniteur conventionnel, système PAL à 625 lignes sur lequel nous ne reviendrons pas.
- Le deuxième élément est un interface composé, d'une part, d'une mémoire de rafraîchissement qui contient l'information complète contenue dans une image TV, d'autre part, cet interface comprend également toute l'électronique de commande des signaux couleurs.
- Un microordinateur permet d'introduire dans la mémoire de rafraîchissement l'information concernant la géométrie et la couleur des différentes figures composant l'image TV. Un périphérique (disques souples) du microordinateur autorise la mémorisation des images générées par l'utilisateur.
- Le quatrième élément du système est constitué par l'interface avec l'utilisateur. Cette unité, formée par un clavier et un écran de visualisation accepte les commandes de l'utilisateur.

Le logiciel de commande du microordinateur enregistre les ordres transmis par le clavier. Ces ordres sont ensuite transformés dans le microordinateur sous une forme compatible avec l'interface (mémoire de rafraîchissement).

A2.1 Interface microordinateur-moniteur TV

L'écran du moniteur a été digitalisé en une matrice de 128 x 128 points. La coloration de chaque point est choisie parmi 8 différentes couleurs déterminées par l'utilisateur. Cette matrice a une forme carrée, elle est située au centre de l'écran de TV (fig. a2).

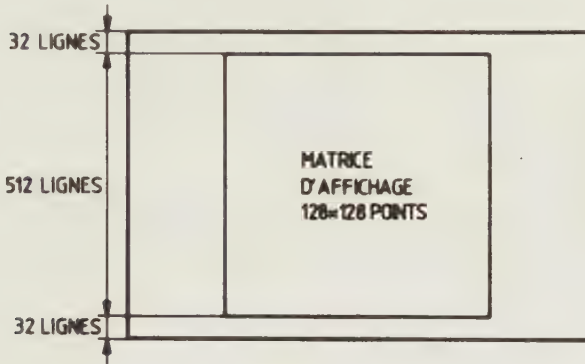


fig. a2

A2.2 Mémoire de rafraichissement

Les demi-images successives du moniteur apparaissent à une fréquence de 50 Hz, il est donc nécessaire de régénérer périodiquement la matrice d'affichage. Cette opération a été confiée à une mémoire de rafraichissement, déchargeant le microordinateur qui travaille à un niveau différent : il ne transmet de l'information à la mémoire de rafraichissement que lorsqu'intervient une modification de l'image.

Le balayage périodique de l'écran TV se faisant suivant une trame, une mémoire de rafraichissement structurée en registre à décalage paraît très appropriée. Avec la structure d'un registre à décalage, qui est organisé de manière circulaire, chaque cellule contient l'information concernant un point de la matrice d'affichage, la longueur de ce re-

gistre est de

$$128 \times 128 = 16'384 \text{ cellules}$$

L'emplacement relatif de chaque cellule dans la mémoire de rafraîchissement fixe l'information relative à la géométrie d'une image. Le contenu du registre à décalage est uniquement formé de l'information couleur de cette image.

Pour notre application, nous avons vu que 8 couleurs différentes sont suffisantes. Comme chaque cellule élémentaire mémorise le numéro de la couleur à afficher, elle contient un nombre de 3 bits.

La structure de la mémoire de rafraîchissement est donnée par la fig. a3.

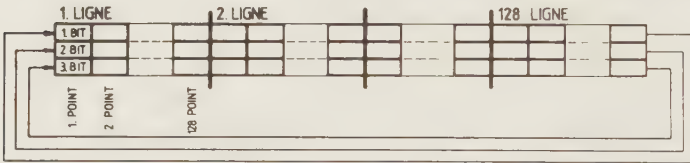


fig. a3

A2.3 Electronique générant la couleur

Comme il a été mentionné précédemment, 8 couleurs différentes par image peuvent être sélectionnées parmi le spectre entier des couleurs offert par le moniteur TV. Chaque couleur affichée résulte de la somme des 3 couleurs fondamentales (rouge (R), vert (V) et bleu (B)). Les valeurs des luminances de ces couleurs fondamentales sont représentées par des tensions qui sont introduites dans le moniteur de télévision par l'intermédiaire des canaux R, V et B.

C'est un multiplexeur analogique qui permet de sélectionner une des 8 couleurs désirée. Cette conception est représentée par la fig. a4. Chacune des 8 couleurs est déterminée en réglant la luminance de ses trois composantes au moyen de

3 potentiomètres.

La sélection de la couleur est réalisée avec la commande à 3 bits du multiplexeur. Ces 3 bits proviennent du registre à décalage de la mémoire de rafraîchissement.

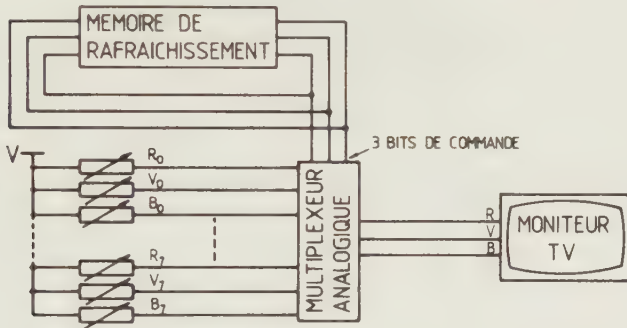


fig. a4

A2.4 Entrée des paramètres

Les programmes réalisés permettent de générer des éléments géométriques simples tels que le carré, le rectangle, le disque, le triangle. La couleur, les dimensions, la position et l'orientation de ces éléments sont ajustables par l'utilisateur.

L'image complète (affichage horloger dans notre cas) est composée avec ces éléments géométriques simples.

Le rectangle, par exemple, est défini avec les paramètres suivants (fig. a5):

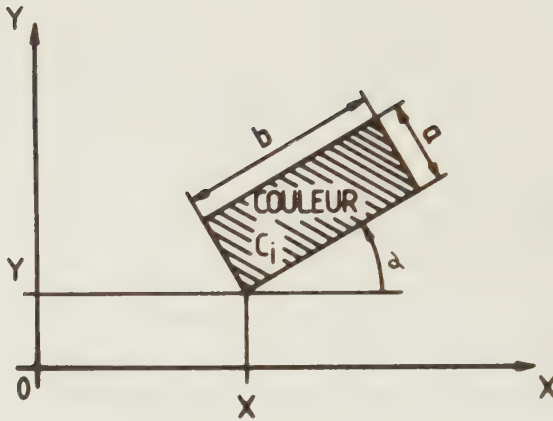


fig. a5

- La couleur C_i de l'élément, fixée par un nombre i .
- Les coordonnées X et Y d'un point caractéristique de la figure, donnant la position de l'élément dans la matrice. Dans le cas du rectangle, l'un des quatre sommets a été retenu comme point caractéristique.
- La dimension du rectangle est définie par les valeurs des côtés a et b .
- L'orientation de l'élément est fixée par l'angle α de la figure par rapport à l'horizontale.

Un nombre réduit de paramètres permet donc de composer une figure élémentaire sur l'écran de télévision. Ce sont ces paramètres qui sont introduits dans le microordinateur. Cette entrée des paramètres peut être faite de différentes manières.

La première méthode, que l'on appelle mode absolu, établit une conversation entre l'utilisateur et le microordinateur par l'intermédiaire du clavier et de l'écran de visualisation. Ce conversationnel permet d'assigner des valeurs aux paramètres simples des éléments constitutifs de l'image.

La deuxième méthode, qui est un mode interactif, détermine les figures par des corrections successives réalisées avec différentes touches du clavier.

A2.5 Le microordinateur et le logiciel de commande

Le microordinateur réceptionne tout d'abord l'information en provenance du clavier. Ces valeurs sont introduites dans une partie de mémoire du processeur.

Un logiciel approprié (Farine et Hämmerli, 1978) permet au microprocesseur de traduire cette information et de la transmettre sous une forme compatible à la mémoire de rafraîchissement. En effet, cette dernière ne peut accepter les paramètres qui sont dans la mémoire du processeur; elle doit mémoriser l'information en fonction de chaque ligne de balayage de l'écran de TV.

Les paramètres transformés par le logiciel, pour une figure élémentaire, sont les suivants :

C : couleur de la figure

Y : coordonnée définissant le début de la figure par rapport au bord supérieur de l'image

H : hauteur de la figure

X_i : coordonnée définissant le début de la $i^{\text{ème}}$ ligne horizontale balayant la figure par rapport au bord gauche de l'image

l_i : longueur du segment de la $i^{\text{ème}}$ ligne de la figure

Les paramètres Y, H, et les couples (X_i, l_i) déterminent exactement les cellules du registre à décalage dans lesquelles l'information de la couleur C doit être introduite. C_0 est la couleur de fond.

La fig. a6 décrit ces paramètres.

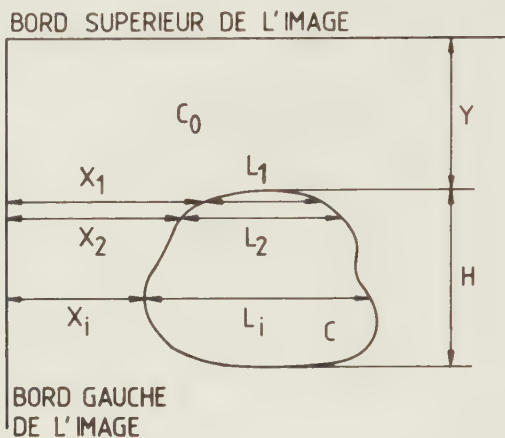


fig. a6

L'enregistrement de la succession des paramètres des figures élémentaires constitutives d'une image dans une mémoire magnétique (disques souples) permet la restitution, à tout moment, de cette image sur l'écran de TV.

La structure du logiciel de commande est donnée par la fig. a7.

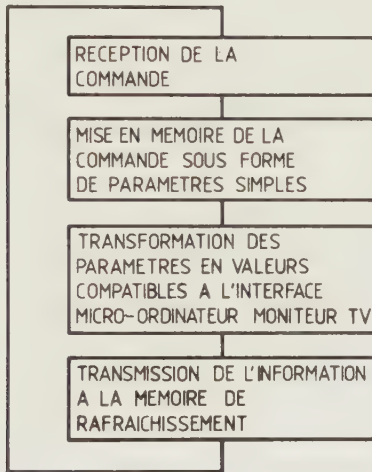


fig. a7

La structure complète de l'électronique du synthétiseur d'images est représentée par la fig. a8.

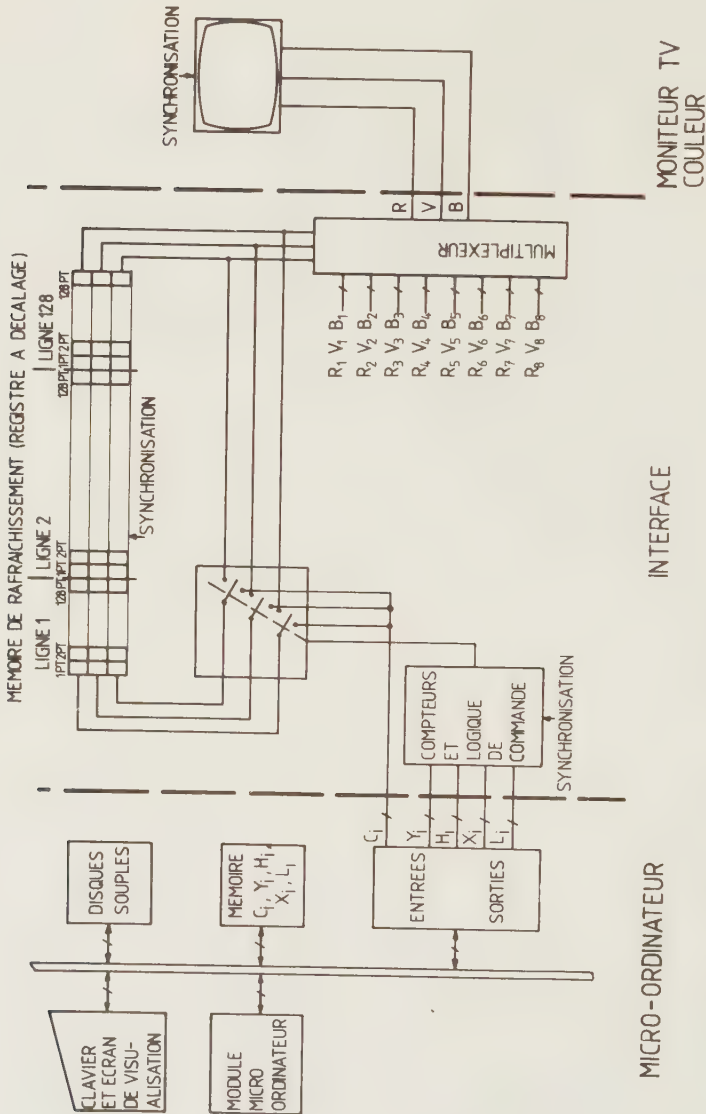


fig. a8

A3 Equipement expérimental pour la mesure tachistoscopique

Les stimuli représentant les affichages horlogers sont présentés au sujet sous la forme de diapositives. Elles sont projetées sur un écran par l'intermédiaire d'un projecteur muni d'un obturateur.

Un second projecteur, également équipé d'un obturateur, est utilisé dans ce dispositif. Son obturateur travaille en mode inversé par rapport à l'obturateur du premier projecteur; c'est-à-dire que quand le premier obturateur est ouvert, le second est fermé et réciproquement.

Le second projecteur envoie sur l'écran une diapositive avec un point central bleu sur un fond gris clair semblable à celui des affichages. Le sujet fixe ce point avant l'apparition de l'affichage. Au moment où l'affichage est projeté, le regard du sujet est déjà centré sur l'affichage.

Le fond gris clair est utilisé comme fond lumineux lorsque le premier obturateur n'est pas ouvert. Lorsque la diapositive qui représente l'affichage apparaît, le sujet n'est pas ébloui.

Le sujet est assis à 230 cm de l'écran qui est constitué d'un verre dépoli carré de 20 cm de côté. L'angle visuel est de 5° ; il correspond à l'angle réel sous lequel l'affichage d'une montre-bracelet est perçu.

Le milieu de l'écran est situé à la hauteur des yeux du sujet.

L'opérateur peut régler la durée d'exposition de l'affichage (de 10 à 200 ms, dans notre cas) et commander son apparition. Ces opérations sont effectuées par une électronique de commande des obturateurs.

La fig. a9 montre la disposition de l'équipement expérimental.

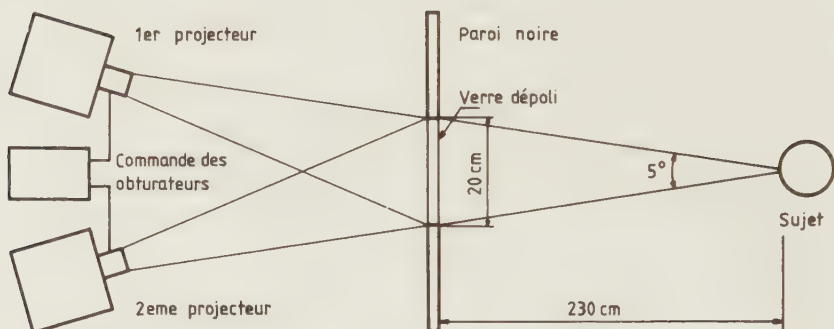


fig. a9

La chambre dans laquelle l'expérience s'est déroulée était isolée de la lumière du jour et éclairée avec une intensité constante.

A4 Equipement expérimental pour la mesure des temps d'exposition individuelle et de réaction verbale

Le dispositif utilisé pour cette expérience est très semblable à celui qui a été conçu pour la mesure tachistoscopique. Deux projecteurs munis d'obturateurs travaillent en alternance. Le premier envoie sur un écran la diapositive qui représente l'affichage, le second une diapositive avec un point bleu central. En plus d'attirer l'attention du sujet avant l'apparition du stimulus, ce point est utilisé comme point de référence pour l'analyse des mouvements oculaires. Contrairement à la mesure tachistoscopique, la durée d'exposition de l'affichage n'est pas programmée; elle est déterminée par une commande à bouton-poussoir qui est entre les mains du sujet. Dès qu'il appuie sur le bouton, l'affichage apparaît et les deux compteurs sont enclenchés; dès qu'il le relâche, l'affichage disparaît et le premier compteur est arrêté, il affiche le temps d'exposition individuelle.

Lorsque le sujet commence à verbaliser sa réponse, le second compteur est arrêté par l'intermédiaire d'un microphone, il affiche le temps de réaction verbale. Les deux compteurs affichent le temps avec une précision au 10^{-2} de seconde.

La position du sujet par rapport à l'écran est identique à celle qu'il occupe dans l'expérience tachistoscopique.

La fig. a10 représente l'équipement expérimental utilisé pour la mesure des temps d'exposition individuelle et de réaction verbale.

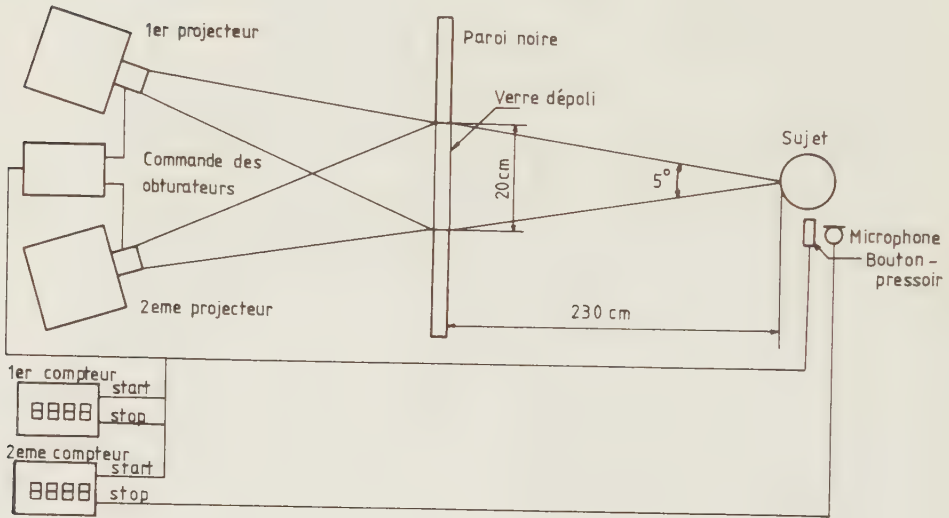


fig. a10

A5 Questionnaire

Cette enquête a été réalisée du 15 mars au 15 avril 1978 dans les régions de Neuchâtel, Lausanne et Zurich. Les enquêteurs étaient des étudiants qui participaient à un séminaire de méthodologie en psychologie, durant lequel le questionnaire a été réalisé. Ils étaient donc parfaitement instruits et très motivés pour accomplir cette tâche. Les enquêteurs étaient au nombre de 10 et ont interrogé 130 personnes.

L'âge des personnes interrogées a été sélectionné selon la méthode des quotas qui permet d'établir un échantillon proportionnel à la réalité.

La répartition de la population dans les autres catégories (sexe, profession et domicile), n'a pas pu être effectuée avec la méthode des quotas. Comme la dimension de notre échantillon est restreinte, certaines sous-populations seraient réduites à quelques unités. La correspondance d'une typologie des préférences avec une typologie de sous-populations (objectif secondaire; chap. 3.3) ne serait plus réalisable.

Ainsi, la population interrogée ne correspond pas exactement à un modèle réduit et proportionnel à la population suisse.

A5.1 Echantillon

Les 130 personnes interrogées forment les classes suivantes:

		Nombre de personnes interrogées	en pourcent
- <u>AGE</u>	: de 15 à 24 ans	36	28%
	de 25 à 39 ans	43	33%
	de 40 à 65 ans	51	39%
- <u>SEXE</u>	: hommes	74	57%
	femmes	56	43%
- <u>PROFESSION</u> :	professions manuelles	42	32%
	employés	35	27%
	cadres	24	18%
	ménagères	18	14%
	personnes en formation	11	8%
- <u>DOMICILE</u>	: canton de Neuchâtel	88	68%
	hors du canton de Neuchâtel	42	32%

A5.2 Réponses au questionnaire

Question 1 : COMBIEN DE MONTRES INDIVIDUELLES POSSEDEZ-VOUS ?

Réponses : population : 130 personnes (100%)

Remarque : Les réponses sont données en pourcent. La base sur laquelle les valeurs en pourcent sont calculées est donnée par le nombre de personnes qui ont répondu; il est appelé "population" (pour cette question, il est égal à 130). Ce nombre correspond à 100%.

Pas de montre	:	1 %
1 montre	:	24 %
2 montres	:	30 %
3 montres	:	24 %
4 montres et plus	:	21 %

Les personnes interrogées possèdent en moyenne 2,9 montres individuelles.

Question 2 : COMBIEN DE MONTRES INDIVIDUELLES EN ETAT DE MARCHE POSSEDEZ-VOUS ?

Réponses : population : 130 (100%)

Pas de montre	:	4 %
1 montre	:	38 %
2 montres	:	28 %
3 montres	:	18 %
4 montres et plus	:	12 %

Les personnes interrogées possèdent en moyenne 2,2 montres individuelles en état de marche.

Cette question a été posée dans une autre enquête réalisée en Suisse en 1968 (Le Coultre et Beuchat, 1968).

En mettant nos résultats sous une forme identique, la comparaison suivante peut être réalisée :

	résultats obtenus en 1968 population = 1000 (100%)	résultats obtenus en 1978 population = 130 (100%)
Pas de montre	: 9 %	4 %
1 montre	: 59 %	38 %
2 montres	: 25 %	28 %
3 montres et plus	: 7 %	30 %

En 1978, les personnes possèdent plus de montres en état de marche qu'en 1968. Cette différence est significative à .001 (test de Kolmogorof-Smirnof).

Remarque : Dans ce questionnaire, nombre de réponses ne peuvent être reportées que sur des échelles nominales ou ordinales. Une condition nécessaire pour l'utilisation d'un test statistique paramétrique est que les variables soient mesurées dans une échelle d'intervalle (Siegel, 1956, p. 19). En conséquence, les tests statistiques que nous avons utilisés pour accepter ou rejeter l'hypothèse nulle H_0 sont non-paramétriques.

Question 3 : COMBIEN DE MONTRES INDIVIDUELLES UTILISEZ-VOUS EFFECTIVEMENT ?

Réponses : population : 130 personnes (100%)

Pas de montre	: 11 %
1 montre	: 60 %
2 montres	: 22 %
3 montres	: 5 %
4 montres et plus	: 2 %

Les personnes interrogées utilisent effectivement en moyenne 1,3 montre.

Question 4 : PORTEZ-VOUS UNE MONTRE ?

SI VOUS AVEZ REPONDU JAMAIS OU OCCASIONNELLEMENT, POURQUOI ?

Réponses : 1ère partie de la question

population = 130 (100%)

sans réponse	:	2 %
toujours	:	72 %
souvent	:	11 %
occasionnellement	:	8 %
jamais	:	7 %

2ème partie de la question

population = 20 (100%)

1) raisons utilitaires (inutilité de la montre)	35 %
2) raisons professionnelles (environnement qui détériore la montre)	30 %
3) raisons liées au bien-être (le port de la montre est désagréable)	30 %
4) autres	5 %

L'hypothèse nulle selon laquelle la population interrogée n'a pas tendance à porter toujours une montre peut être rejetée avec le niveau .01 (test de Kolmogorof-Smirnof).

Question 5 : A QUEL AGE AVEZ-VOUS REÇU VOTRE PREMIERE MONTRE ?

Réponses : Sur les 130 personnes interrogées, 2 déclarent n'avoir jamais reçu de montre.

population : 128 (100%)

L'histogramme des réponses est représenté par la fig. all.

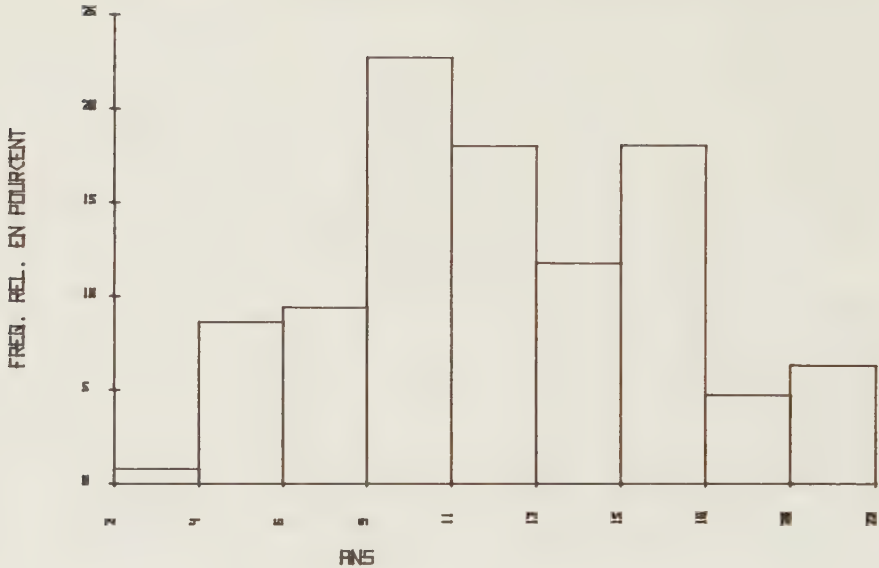


fig. all

L'âge moyen est de 12.1 ans.

Différenciation en fonction de la classe d'âge :

	âge moyen
personnes âgées de 15-24 ans	10,5 ans
personnes âgées de 25-39 ans	11,5 ans
personnes âgées de 40-65 ans	14 ans

L'hypothèse nulle selon laquelle la sous-population âgée de 15 à 24 ans a reçu sa première montre au même âge que la sous-population âgée de 40 à 65 ans peut être rejetée au niveau .001 (test de Kolmogorof-Smirnof).

Question 6 : A CERTAINES OCCASIONS (vacances, week-end, nuit, bains, etc.), VOUS SEPREZ-VOUS DE VOTRE MONTRE ?
SI OUI, A QUELLES OCCASIONS ?

Réponses : 1ère partie de la question

population : 130 personnes (100%)

sans réponse : 10 %

oui : 84 %

non : 6 %

2ème partie de la question

population : 109 personnes (100%)

Les réponses sont réparties dans 7 catégories. Comme les personnes pouvaient décrire plusieurs situations pour lesquelles elles se séparaient de leur montre, les catégories mentionnées ne sont pas exclusives; la somme des résultats en pourcent est donc supérieure à 100%.

pendant le bain : 83 %

pendant la nuit : 41 %

pendant les vacances : 16 %

pendant les loisirs : 12 %

pendant les week-ends : 8 %

pendant le travail : 12 %

pendant le sport : 6 %

autres occasions : 10 %

La différence entre les personnes qui se séparent de leur montre à certaines occasions et celles qui ne s'en séparent jamais est significative à .001 ($\chi^2_{\text{théorique}} = 10,83$; $\chi^2_{\text{empirique}} = 87,19$).

Question 7 : LA MONTRE C'EST ...

Cette question du type "Phrase à compléter" a été évaluée par une analyse de contenu.

Les mots-clés sont répartis dans 7 catégories.

Les valeurs en pourcent représentent la fréquence des mots-clés relevés. Chaque réponse a pu être codée avec un seul mot-clé.

Réponses : population : 123 personnes (100%)
(7 personnes n'ont pas répondu)

aspects utilitaires	1) utilité	48 %
	2) nécessité	28 %
aspects techniques	3) technique	3 %
	4) précision	2 %
aspect esthétique	5) esthétique	7 %
aspect social	6) mode	1 %
aspect affectif	7) affectivité	2 %
autres aspects		6 %
personnes indifférentes		5 %

Remarque : Les résultats en pourcent sont arrondis; la somme peut être différente de 100%.

Question 8 : ETES-VOUS INCOMMODE SI VOUS AVEZ OUBLIE VOTRE MONTRE ?

EN QUOI ETES-VOUS INCOMMODE ?

Réponses : lère partie de la question

population : 130 (100%)

sans réponse	:	2 %
oui	:	62 %
non	:	28 %
pas d'expérience	:	9 %

2ème partie de la question

population ayant répondu oui à la lère partie : 80 (100%)

Les différentes causes ont été classées dans les catégories suivantes :

perte de la notion du temps	:	40 %
raisons affectives	:	23 %
raisons professionnelles	:	17 %
désagrément dû à la recherche d'un autre indicateur (demander l'heure à quelqu'un par exemple)	:	9 %

habitude	:	4 %
autres raisons	:	7 %

Les personnes interrogées sont incommodées si elles ont oublié leur montre. La différence entre les réponses affirmatives et les réponses négatives est significative à .001 ($\chi^2_{\text{théorique}} = 13,82$; $\chi^2_{\text{empirique}} = 55,75$).

Question 9 : REMARQUEZ-VOUS LA MONTRE QUE PORTENT VOS AMIS OU LES PERSONNES QUE VOUS RENCONTREZ ?
POURRIEZ-VOUS DONNER LES CARACTERISTIQUES D'UNE MONTRE QUE VOUS AVEZ AINSI VUE ?

Réponses : 1ère partie de la question

population = 130 (100%)

sans réponse	:	1 %
souvent	:	31 %
parfois	:	53 %
jamais	:	15 %

2ème partie de la question

Le type de montre est très différent selon qu'il est destiné aux hommes ou aux femmes. Nous avons donc différencié l'analyse du contenu des réponses en fonction du sexe.

Cinq catégories correspondant à cinq points d'accrochage visuel différents ont été établies :

HOMMES : population = 50 (100%)

FEMMES : population = 39 (100%)

		<u>femmes</u>	<u>hommes</u>
forme de la montre	:	54 %	62 %
matériaux utilisés	:	33 %	22 %
couleur du cadran ou de la boîte	:	33 %	6 %
marque de la montre	:	8 %	8 %
aspect fonctionnel (chronographe, calculatrice, etc.)	:	5 %	26 %
autres	:	31 %	20 %

Remarque : Le total est supérieur à 100%, différents points d'accrochage ayant pu être remarqués par une même personne.

La majorité des personnes interrogées affirment remarquer, parfois ou souvent, la montre des personnes qu'elles rencontrent. La différence entre ces personnes et celles qui n'ont jamais fait une observation semblable est significative au niveau .001 ($\chi^2_{\text{théorique}} = 10,83$; $\chi^2_{\text{empirique}} = 61,40$).

En outre, 35 hommes (70% des hommes qui ont remarqué une montre) évoquent des points d'accrochage ayant trait à l'esthétique (forme de la montre, matériaux utilisés, couleur du cadran ou de la boîte). 31 femmes (79% des femmes qui ont remarqué une montre) évoquent les mêmes points d'accrochage. Statistiquement, il n'y a pas d'interaction entre le sexe et le fait de relever des aspects esthétiques ou d'autres aspects sur la montre ($\chi^2_{\text{théorique}} = 3,84$; $\chi^2_{\text{empirique}} = 1,03$).

En revanche, l'hypothèse nulle selon laquelle il n'y a pas d'interaction entre le sexe et le fait de relever des aspects ayant trait à la couleur d'une partie de la montre ou de relever d'autres aspects peut être rejetée au niveau .001 ($\chi^2_{\text{théorique}} = 10,83$; $\chi^2_{\text{empirique}} = 11,10$). Les femmes sont donc plus sensibles que les hommes à la couleur.

L'hypothèse nulle selon laquelle il n'y a pas d'interaction entre le sexe et le fait de relever des aspects fonctionnels ou de relever d'autres aspects peut être rejetée au niveau .01 ($\chi^2_{\text{théorique}} = 6,64$; $\chi^2_{\text{empirique}} = 6,81$). Les hommes sont donc plus sensibles que les femmes aux aspects fonctionnels de la montre.

Question 10 : SI LA MONTRE N'AFFICHE PAS LA SECONDE, EST-CE QUE CELA VOUS ENNUIE ?

SI OUI, POURQUOI ?

Réponses : 1ère partie de la question

population = 130 (100%)

sans réponse	:	0 %
oui	:	25 %
non	:	75 %

2ème partie de la question

Trois catégories ont été établies :

population = 33 (100%)

fonction de chronométrage	:	49 %
nécessité de la précision à la seconde	:	24 %
nécessité de percevoir le mouvement	:	9 %
autres	:	18 %

La différence entre les réponses affirmatives et les réponses négatives est significative à .001 ($\chi^2_{\text{théorique}} = 10,83$; $\chi^2_{\text{empirique}} = 31,51$).

Question 11 : QUAND VOUS LISEZ L'HEURE, Y A-T-IL DES MOMENTS OU CELA VOUS FAIT ACCELERER UNE ACTIVITE (aller plus vite dans votre travail, par exemple) ?

Réponses : population = 130 (100%)

sans réponse	:	0 %
oui souvent	:	32 %
parfois oui, parfois non	:	53 %
rarement ou jamais	:	15 %

La population interrogée présente une tendance à accélérer son activité lorsqu'elle lit l'heure. Cette tendance est significative à .01 (test de Kolmogorof-Smirnof).

Question 12 : SI LE TEMPS VOUS SEMBLE LONG, REGARDEZ-VOUS
L'HEURE PLUS SOUVENT ?
POUVEZ-VOUS CITER UN CAS ?

Réponses : lère partie de la question

population = 130

sans réponse	:	1 %
oui	:	76 %
non	:	23 %

2ème partie de la question

La presque totalité des cas cités relève de l'attente d'un événement particulier ou de l'ennui rencontré lors d'une activité fort peu intéressante; dans ce dernier cas, il s'agit d'attendre le moment où cette activité prend fin. L'hypothèse nulle selon laquelle il n'y a pas de différence entre la fréquence des réponses affirmatives et la fréquence des réponses négatives peut être rejetée avec la probabilité .001 de se tromper ($\chi^2_{\text{théorique}} = 10,63$; $\chi^2_{\text{empirique}} = 36,91$).

Question 13 : QUEL EST LE PRINCIPAL AVANTAGE D'UNE MONTRE A AIGUILLES ?

Réponses : Quatre avantages différents sont ressortis de l'enquête

population = 130 (100%)

lisibilité (lectures relatives)	:	58 %
esthétique	:	18 %
manipulation	:	5 %
habitude	:	4 %
autres	:	2 %
ne voient pas d'avantage	..	14 %

Question 14 : QUEL EST LE PRINCIPAL AVANTAGE D'UNE MONTRE ELECTRONIQUE NUMERIQUE ?

Réponses : Quatre avantages différents sont ressortis de l'enquête

population = 130 (100%)

précision du mouvement	:	24 %
lisibilité (lectures précises)	:	12 %
avantages techniques	:	5 %
fonctions (chronométrage)	:	4 %
autres	:	6 %
ne voient pas d'avantage	:	50 %

Question 15 : PORTEZ-VOUS ACTUELLEMENT UNE MONTRE A AIGUILLES OU UNE MONTRE NUMERIQUE, OU LES DEUX SELON LES CIRCONSTANCES ? SI VOUS PORTEZ LES DEUX, A QUELLES OCCASIONS PORTEZ-VOUS PLUTOT UNE MONTRE NUMERIQUE ? SI VOUS PORTEZ LES DEUX, QUELLE EST CELLE QUE VOUS PORTEZ LE PLUS SOUVENT ?

Réponses : 1ère partie de la question

population = 130 (100%)

aucune	:	9 %
montre analogique	:	75 %
montre numérique	:	10 %
les deux	:	5 %

2ème partie de la question

population = 7

La situation principale évoquée est la profession : une grande précision de lecture est nécessaire (trois personnes)

3ème partie de la question

population = 7

Les trois personnes qui utilisent leur montre numérique dans des situations professionnelles portent plus souvent ce genre de montre, alors que les quatre autres qui évoquent d'autres situations utilisent plus fréquemment la montre analogique.

Question 16 : SI VOUS PORTEZ (toujours ou parfois) UNE MONTRE NUMERIQUE, TROUVEZ-VOUS QU'ELLE EST PLUS UTILE QUE LA MONTRE A AIGUILLES ?

SI OUI : POURQUOI ?

SI NON : POURQUOI ?

Réponses :

Remarque : Sur les 130 sujets interrogés, 7 portent les deux types d'affichages et 13 portent une montre à affichage numérique. Pour augmenter la sous-population des porteurs de montre à affichage numérique, et, par conséquent, la signification des résultats, nous avons interrogé 12 personnes supplémentaires portant ce genre de montre. Cette remarque est valable pour les questions 16, 20 et 21.

1ère partie de la question

population = 32 (100%)

sans réponse :	9 %
oui :	41 %
non :	50 %

2ème partie de la question (réponse affirmatives)

population = 13 (100%)

Trois raisons ont été invoquées :

précision	:	62 %
lisibilité (lectures précises)	:	46 %
fonctions intégrées dans la montre	:	23 %
autres raisons	:	8 %

Remarque : Plusieurs raisons ont pu être invoquées par une même personne, le total est donc supérieur à 100%. Il faut comprendre, par exemple, que la précision a été évoquée par 62% des personnes interrogées.

3ème partie de la question (réponses négatives)

population = 16 (100%)

Deux raisons principales ont été invoquées :

mauvaise lisibilité	:	63 %
manipulation peu pratique	:	31 %
autres raisons	:	19 %

L'hypothèse nulle selon laquelle la fréquence des réponses affirmatives et celle des réponses négatives sont égales (1ère partie de la question) ne peut pas être rejetée (test du χ^2).

Question 17 : SI VOUS N'AVEZ PAS DE MONTRE NUMERIQUE (mais seulement une à aiguilles) EN AIMERIEZ-VOUS UNE ?
POURQUOI ?

Réponses : 1ère partie de la question

population = 98 (100%)

sans réponse	:	6 %
oui	:	13 %
non	:	81 %

2ème partie de la question (réponses affirmatives)

population = 13 (100%)

Sept personnes (54%) évoquent l'attrait de la nouveauté et le désir de tester ce produit; les 6 personnes restantes donnent des raisons diverses.

population = 79 (100%) (réponses négatives)

Lors de l'analyse de contenu des réponses, quatre catégories principales ont été relevées :

mauvaise lisibilité	:	30 %
manque d'esthétique	:	22 %
manipulation peu pratique	:	20 %
(boutons-poussoir)		
inutilité	:	20 %
autres défauts	:	19 %

Remarque : Certaines personnes ont donné plusieurs raisons, le total n'est pas égal à 100%.

La différence entre la fréquence des réponses positives et celle des réponses négatives est significative à .001 ($\chi^2_{\text{théorique}} = 10,83$; $\chi^2_{\text{empirique}} = 47,35$).

Question 18 : LES MONTRES NUMERIQUES SONT-ELLES PLUS BELLES QUE LES MONTRES A AIGUILLES ?

Réponses : population = 130 (100%)

sans réponse	:	2 %
oui	:	4 %
non	:	70 %
indifférent	:	24 %

La différence entre la fréquence des réponses affirmatives et celle des réponses négatives est significative à .001 ($\chi^2_{\text{théorique}} = 10,83$; $\chi^2_{\text{empirique}} = 22,78$).

Les réponses affirmatives ne proviennent que de la sous-population masculine. L'interaction entre les réponses affirmatives et négatives d'une part, et les deux sous-populations caractérisées par le sexe d'autre part, est significative à .05 ($\chi^2_{\text{théorique}} = 3,84$; $\chi^2_{\text{empirique}} = 4,16$).

Question 19 : POUR CEUX QUI ONT UNE MONTRE A AIGUILLES SEULEMENT : SI VOUS ACHETIEZ AUJOURD'HUI UNE NOUVELLE MONTRE, EST-CE QUE CE SERAIT

- UNE ELECTRONIQUE NUMERIQUE ?
- UNE ANALOGIQUE MECANIQUE ?
- UNE ANALOGIQUE ELECTRONIQUE ?

POURQUOI FERIEZ-VOUS CE CHOIX ?

Réponses : lère partie de la question

population = 98 (100%)

sans réponse	:	6 %
une électronique numérique	:	9 %

une analogique mécanique	:	35 %
une analogique électronique	:	38 %
une électronique numérique ou analogique	:	2 %
une analogique mécanique ou électronique	:	10 %

L'histogramme des réponses est représenté par la fig. a12.

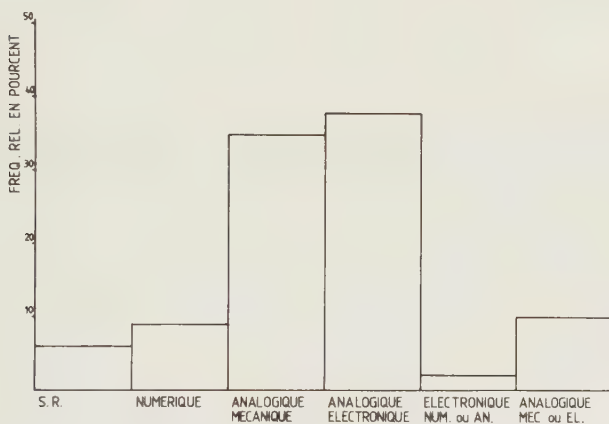


fig. a12

2ème partie de la question

- Analyse de la motivation des sujets qui choisiraient une montre électronique numérique :

population = 9 (100%)

Une seule motivation principale a été relevée :

sans réponse	:	11 %
attirait de la nouveauté (pour la tester ou pour la mode)	:	56 %
autres motivations	:	33 %

- Analyse de la motivation des sujets qui choisiraient une montre analogique mécanique :

population = 34 (100%)

Après une analyse de contenu, trois catégories principales ont été relevées :

habitude	:	41 %
solidité, fiabilité	:	30 %
esthétique	:	16 %
autres	:	14 %

- Analyse de la motivation des sujets qui choisiraient une montre analogique électronique :

population = 37 (100%)

L'analyse de contenu nous a permis d'établir cinq catégories :

précision de marche	:	33 %
simplicité d'utilisation	:	31 %
habitude	:	16 %
esthétique	:	12 %
lisibilité	:	8 %

La différence entre la fréquence des personnes qui achèteraient une montre à affichage analogique et celle des personnes qui choisiraient une montre à affichage numérique est significative au niveau .001 ($\chi^2_{\text{théorique}} = 10,83$; $\chi^2_{\text{empirique}} = 57,60$).

La différence entre la fréquence des personnes qui achèteraient une montre mécanique à affichage analogique et celle des personnes qui choisiraient une montre électronique à affichage analogique n'est statistiquement pas significative.

Une analyse, au niveau des catégories professionnelles, nous permet d'établir le tableau suivant (tab. a1).

		SR	num.	anal. méc.	anal. élec.	élec. num. ou anal.	anal. méc. ou élec.
prof.man.	p = 32	6%	13%	50%	22%	0%	9%
employés	p = 25	12%	16%	32%	28%	0%	12%
cadres	p = 18	6%	0%	33%	50%	11%	0%
ménagères	p = 17	0%	6%	12%	65%	0%	18%
p : population							

tab. al

La préférence pour les montres analogiques mécaniques est plus forte chez les personnes exerçant une profession manuelle que dans le reste de la population.

La différence de choix entre la montre analogique mécanique et la montre analogique électronique en fonction des personnes exerçant une profession manuelle et du reste de l'échantillon est significative à .02 ($\chi^2_{\text{théorique}} = 5,41$; $\chi^2_{\text{empirique}} = 6,41$).

Les ménagères montrent une forte préférence pour la montre analogique électronique.

L'interaction entre type de montre (analogique électronique, analogique mécanique) et les deux sous-populations constituées des ménagères d'une part, et du reste de la population d'autre part, est significative à .01 ($\chi^2_{\text{théorique}} = 6,64$; $\chi^2_{\text{empirique}} = 6,74$).

Question 20 : SI VOUS AVEZ UNE MONTRE NUMERIQUE, QU'EST-CE QUI VOUS A DECIDE A ACHETER UNE TELLE MONTRE ?

Réponses : population = 32 (100%)

Cinq catégories de motivation différentes ont été établies :

attrait de la nouveauté	:	31 %
ont reçu cette montre en cadeau	:	28 %
aspect fonctionnel et technique	:	13 %
aspect mode et gadget	:	9 %

prix avantageux : 9 %
 profession en relation avec la fabrication
 de ce type de montre : 9 %

En considérant les deux raisons principales invoquées (l'attrait de la nouveauté et l'aspect fonctionnel) et les réponses que ces personnes ont apportées à la question 16 qui traite de l'utilité de la montre numérique, le tableau suivant peut être constitué (tab. a2).

		raison de l'achat d'une montre numérique	
		nouveauté	aspect fonctionnel
réponses à la question 16	la montre numérique est <u>plus</u> utile que la montre analogique	1	4
	la montre numérique est <u>moins</u> utile que la montre analogique	9	0
	sans réponse	1	0

tab. a2

L'interaction entre les deux raisons principales d'achat et le jugement sur l'utilité de la montre numérique est significative au niveau .005 (test de Fisher).

Question 21 : POUR CEUX QUI ONT UNE MONTRE NUMERIQUE SEULEMENT : SI VOUS ACHETIEZ AUJOURD'HUI UNE NOUVELLE MONTRE, EST-CE QUE CE SERAIT :

- UNE ELECTRONIQUE NUMERIQUE ?
 - UNE ANALOGIQUE MECANIQUE ?
 - UNE ANALOGIQUE ELECTRONIQUE ?
- POURQUOI FERIEZ-VOUS CE CHOIX ?

Réponses : 1ère partie de la question

population = 25 (100%)

sans réponse	:	8 %
une électronique numérique	:	44 %
une analogique mécanique	:	4 %
une analogique électronique	:	36 %
une électronique numérique ou analogique	:	4 %
une analogique mécanique ou électronique	:	4 %

L'histogramme des réponses est représenté par la fig. al3.

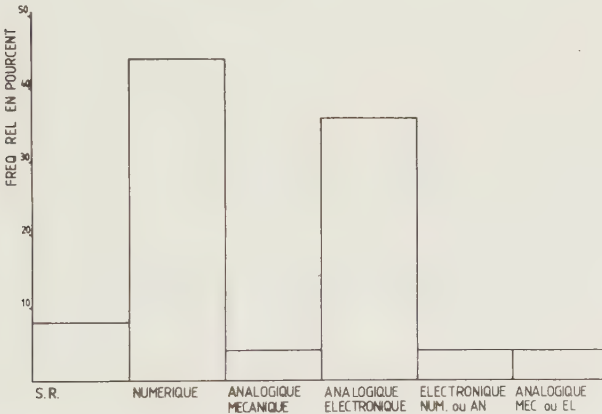


fig. al3

2ème partie de la question

- Analyse de la motivation des sujets qui choisiraient une montre électronique numérique :

population = 11 (100%)

Deux motivations principales ont été classées :

aspect technique et fonctionnel	:	45 %
habitude	:	36 %
autres motivations	:	18 %

- Analyse de la motivation des sujets qui choisiraient une montre électronique analogique :

population = 9 (100%)

Certaines personnes ont donné deux raisons : le total n'est pas égal à 100%.

Quatre raisons différentes ont été relevées :

la lisibilité	:	44 %
la précision	:	44 %
l'esthétique	:	33 %
le désir de retrouver l'affichage analogique	:	22 %

La différence entre le choix d'une montre électronique et d'une montre mécanique est significative au niveau .001 (loi binômiale).

La différence entre le choix d'une montre électronique numérique et le choix d'une montre électronique analogique n'est statistiquement pas significative.

Le nombre de personnes qui ont une montre numérique est trop faible pour permettre une analyse en fonction de différentes sous-populations.

Question 22 : LA MONTRE ELECTRONIQUE C'EST ...

Réponses : population = 127 (100%)

Une analyse lexicale du contenu des réponses permet d'évaluer les fréquences pour 8 catégories :

aspects utilitaires	1) utilité	:	12 %
	2) nécessité	:	1 %
aspects techniques	3) technique	:	15 %
	4) précision	:	20 %
aspect esthétique	5) esthétique	:	3 %
aspect social	6) mode	:	9 %
aspect affectif	7) affectivité	:	0 %
aspects futuristes	8) avenir et progrès	:	33 %
autres aspects		:	1 %
personnes indifférentes		:	6 %

